

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Разработка автоматизированной системы управления установки термической переработки резины</b>

УДК 004.896.678.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM91	Сидоренко Игорь Валерьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пак Александр Яковлевич	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Гончарова Наталья Александровна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н., доцент		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать базовые естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. Уметь сочетать теорию, практику и методы для решения инженерных задач, и понимать область их применения
P2	Иметь осведомленность о передовом отечественном и зарубежном опыте в области теории, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.
P3	Применять полученные знания для определения, формулирования и решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно-технических знаний и достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие аналитические методы и методы проектирования систем автоматизации технологических процессов и обосновывать экономическую целесообразность решений.
P5	Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств.
P6	Уметь планировать и проводить эксперимент, интерпретировать данные и их использовать для ведения инновационной инженерной деятельности в области автоматизации технологических процессов и производств.
P7	Уметь выбирать и использовать подходящее программно-техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально - экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за риски и работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации технологических процессов и производств, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения – весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Магистерской диссертации
--------------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.2021
------------------------------------------	-----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	60
21.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2021	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пак Александр Яковлевич	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н., доцент		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

### **ЗАДАНИЕ** **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8TM91	Сидоренко Игорю Валерьевичу

Тема работы:

Разработка автоматизированной системы управления установки термической переработки резины	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 50-10/с от 19.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
------------------------------------------	--

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объектом исследования является установка термической переработки резины, на основе которой необходимо разработать автоматизированную систему управления.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной).</i>	1. Анализ научных статей, связанных с переработкой резины; 2. Разработка функциональной схемы; 3. Выбор средств реализации; 4. Разработка SCADA системы; 5. Разработка схемы исследовательского стенда; 6. Монтаж исследовательского стенда; 7. Анализ результатов исследования.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		—
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гончарова Наталья Александровна, Доцент отделения социально-гуманитарных наук, кандидат экономических наук	
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович, доцент отделения общетехнических дисциплин, кандидат технических наук	
Раздел на иностранном языке	Сидоренко Татьяна Валерьевна, доцент отделения иностранных языков, кандидат педагогических наук	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Аналитический обзор проводимого эксперимента		

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.03.2021
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пак Александр Яковлевич	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Сидоренко Игорь Валерьевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8TM91	Сидоренко Игорю Валерьевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет – 314898 руб. Затраты на заработную плату – 128142 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнергию 2,56 кВт*ч; Накладные расходы 16 %; Районный коэффициент 30%; Накладные расходы – 16% Районный коэффициент – 1,3
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налог во внебюджетные фонды 30% Районный коэффициент – 1,3

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИ	Оценка потенциальных потребителей исследования, анализ конкурентных решений, SWOT – анализ.
2. Планирование управления научно-техническим проектом	Оценка потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT – анализ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Интегральный показатель эффективности – 4,54 Сравнительная эффективность проекта – 1

**Перечень графического материала**

1. Оценка конкурентоспособности для проекта
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
------------------------------------------------------	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Гончарова Наталья Александровна	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM91	Сидоренко Игорь Валерьевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ91	Сидоренко Игорь Валерьевич

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Тема ВКР:

<b>Разработка клиента OPC UA сервера</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: Установка термической переработки резины.</p> <p>Область применения: Предприятия по переработке твердых бытовых отходов.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда; – СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; – СанПин 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение; – ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновений и токов; ГОСТ 12.1.006-84 Электрические поля радиочастот.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– повышенный уровень шума; – микроклимат; – освещенность рабочей зоны; – электробезопасность; электромагнитное излучение.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– продукты переработки область воздействия на атмосферу
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– ситуация техногенного характера ситуация природного характера

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
------------------------------------------------------	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Сидоренко Игорь Валерьевич		

## **Реферат**

Пояснительная записка содержит 107 страниц машинописного текста, 24 таблицы, 29 рисунков, 56 источников литературы и 1 приложение.

Ключевые слова: Автоматизация, газификация, переработка, резина

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка автоматизированной системы управления установкой термической переработки резины.

В данной работе был произведен обзор литературы на тему переработки резинотехнических отходов. Разработана функциональная схема и SCADA система. Был произведен выбор средств реализации и монтаж оборудования. Также был разработан стенд для исследования характеристик полученных в результате переработки материалов. После чего были произведены эксперименты и сформулированы соответствующие выводы.



## Оглавление

Реферат .....	8
Введение.....	12
1 Анализ существующих решений.....	15
1.1 Переработка резинотехнических отходов способом измельчения.....	15
1.1.1 Области применения.....	17
1.1.1.1 Производство бетона .....	17
1.1.1.2 Дорожные материалы .....	19
1.1.1.3 Системы сейсмической изоляции.....	19
1.2 Регенерация отработанной резины.....	20
1.2.3 Физическая девулканизация .....	21
1.2.3 Химическая девулканизация.....	22
1.2.4 Биологическая девулканизация .....	23
1.3 Пиролиз .....	24
1.3.1 Виды пиролиза .....	25
1.3.1.1 Медленный пиролиз.....	25
1.3.1.2 Быстрый пиролиз.....	26
1.3.1.3 Каталитический пиролиз .....	26
1.3.2 Энергетическая эффективность пиролиза .....	27
1.3.3 Преимущества и недостатки пиролиза .....	28
1.4 Вывод по главе 1 .....	29
2 Разработка АСУ установки термической переработки.....	31
2.1 Описание технологического процесса.....	31
2.2 Разработка функциональной схемы .....	32
2.3 Выбор средств реализации.....	33
2.3.1 Выбор датчика температуры.....	33
2.3.2 Выбор датчика уровня .....	36
2.3.3 Выбор исполнительного механизма .....	36
2.4 Подбор и настройка программного обеспечения .....	37
2.5 Разработка SCADA системы.....	39
2.5.1 Реализация OPC сервера .....	39
2.5.2 Реализация экранных форм.....	40
2.5.3 Опрос датчиков температуры .....	41
3 Исследование горючих характеристик полученного жидкого топлива....	44
3.1 Разработка схемы стенда.....	44
3.2 Выбор средств реализации стенда .....	45
3.2.1 Выбор камеры сгорания .....	45

3.2.2	Выбор исполнительного механизма .....	47
3.2.3	Выбор микроконтроллера .....	48
3.2.4	Выбор термопары.....	48
3.3	Проведение исследования .....	49
3.3.1	Исходные данные для проведения эксперимента .....	49
3.3.2	Описание эксперимента .....	50
3.4	Результаты проведенных экспериментов .....	51
3.4.1	Капельное зажигание и горение жидких углеводородов.....	51
3.4.2	Анализ газофазных продуктов горения .....	55
	Вывод по главе 3 .....	56
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	59
	Введение.....	59
4.1.1	Анализ конкурентных технических решений .....	59
4.1.2	SWOT-анализ.....	61
4.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	62
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	62
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	63
4.3	Бюджет научно-технического исследования .....	68
4.3.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	68
4.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .....	69
4.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	70
4.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	71
4.3.5	Отчисление во внебюджетные фонды .....	72
4.3.6	Накладные расходы .....	72
4.3.7	Бюджетная стоимость НИР .....	73
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	74
4.4.1	Интегральный показатель финансовой эффективности .....	74
4.4.2	Интегральный показатель ресурсоэффективности эффективности .....	75
4.4.3	Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки. ....	75
4.5	Выводы по разделу .....	76
5	Социальная ответственность .....	78
	Введение.....	78
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	78
5.1.1	Характерные правовые нормы трудового законодательства .....	78

5.1.2 Основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя.....	79
5.2 Производственная безопасность .....	79
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	80
5.2.2 Производственный шум .....	80
5.2.3 Микроклимат .....	82
5.2.4 Искусственное освещение.....	83
5.2.5 Электробезопасность .....	84
5.2.6 Электромагнитное излучение .....	85
5.3 Экологическая безопасность.....	85
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	86
5.5 Пожарная безопасность .....	87
5.6 Выводы по разделу .....	88
Список используемых источников литературы.....	89
Приложение А .....	95

## **Введение**

С каждым днем все больше обостряется проблема загрязнения окружающей среды. Поскольку период разложения многих изделий намного превышает срок их использования, а методы утилизации все еще недостаточно развиты этот вопрос остается актуален. К тому же, существует ограниченный запас исчерпаемых ресурсов, поэтому помимо утилизации еще более актуален вопрос переработки и вторичного использования отходов. Одним из самых распространенных видов отходов являются резинотехнические отходы.

Согласно исследованиям большую часть отработанной резины составляют изношенные шины. Утилизация шин является мировой проблемой, которая усугубляется вместе с ростом парка транспортных средств. По оценкам, ежегодное мировое производство шин составляет около 1,5 млрд единиц, что составляет около 17 млн тонн изношенных шин [1], и, кроме того, темпы их производства продолжают расти, поскольку их спрос в развивающихся странах быстро растет.

Шины должны быть надлежащим образом утилизированы, чтобы уменьшить их воздействие на окружающую среду; однако большую часть времени утилизация происходит путем сжигания, что является самой быстрой и простой процедурой утилизации. При сжигании шин образуется большое количество выбросов, в том числе широкий набор углеводородов. При этом также образуются жидкие отходы, содержащие токсичные химические вещества и соединения тяжелых металлов, способные вызвать неблагоприятные для здоровья человека последствия [2].

Исходя из этого в последние годы были проанализированы различные пути обращения с резинотехническими отходами. Наиболее распространенными из которых считаются захоронение отходов, повторное использование в виде источника энергии, регенерация и переработка с целью получения полезных веществ. Согласно исследованиям европейской ассоциации производителей шин и резины, последний метод набирает все большую популярность [3].

Исследования, связанные с переработкой РТО, развиваются с каждым днем. Используются новые методы переработки, разрабатывается более новое оборудование, совершенствуются подходы. Одним перспективных способов переработки резины является метод паровой газификации [4].

Основными продуктами газификации являются жидкие углеводороды, полукокс, горючий газ и металлический лом. Полученный полукокс, является аналогом технического углерода и может быть возвращен в технологический цикл производства резинотехнических изделий [5]. Другой продукт – жидкие углеводороды, состоящие из ароматических и алифатических соединений, представляют интерес для химической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также энергетики. При этом энергетический потенциал данного продукта сопоставим с традиционным нефтяным мазутом, который используется в качестве основного вида топлива на энергетических объектах, судоходного и железнодорожного транспорта и других дизельных двигателей.

В целях улучшения процесса переработки необходимо использовать комплексную систему контроля технологического процесса. Для этого была произведена разработка автоматизированной системы управления установкой.

На ранних этапах работы была разработана функциональная схема автоматизации. Она позволила обозначить значимые технологические решения для представленной установки.

После чего был произведен подбор технических средств реализации АСУ. На этом этапе работы было принято решение отдавать предпочтение отечественным контрольно-измерительным приборам. Это позволило существенно сократить стоимость внедрения разработанной системы. На этапе выбора ПО акцент был также сделан на отечественное обеспечение, благодаря чему была достигнута высокая совместимость ПО и технической части.

Следующим этапом была разработана и внедрена SCADA система. Это позволило более точно понять специфику процесса, а также более точно отслеживать параметры работы.

Также стоит отметить, что были проведены исследования, направленные на изучение полученного конечного продукта.

## 1 Анализ существующих решений

В данный момент остро стоит проблема переработки и утилизации резинотехнических отходов, поскольку их скопление и захоронение сопутствует развитию значительных экологических проблем. Поскольку при длительном хранении отходы полимеров начинают выделять вещества, которые могут привести к нарушению экологического равновесия.

Также, хранение отходов резины является экономически невыгодным решением. В тоже время реализация материалов, полученных в результате переработки отходов уже давно доказала свою рентабельность [6].

В связи с этим уже долгое время активно исследуются различные способы переработки и утилизации отходов резины. Наиболее широкое признание получили способы, представленные на рисунке 1.

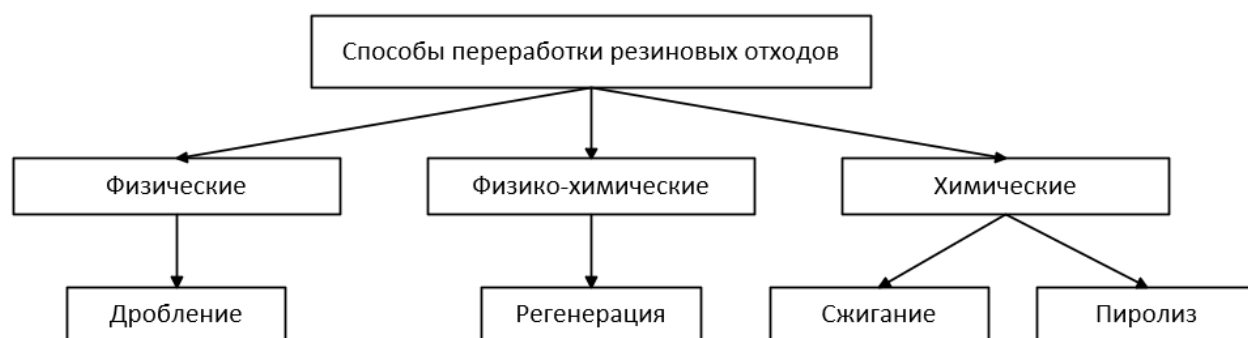


Рисунок 1 – Наиболее распространённые способы переработки

Хотя сжигание и применяется в качестве одного из способов утилизации отходов. Однако в последнее время в различных странах появляется все больше противников данного метода. Это связано, в первую очередь, с выделяемыми в процессе горения вредными веществами, которые способствуют большему загрязнению окружающей среды. В связи с чем на утилизацию методом сжигания накладывается все больше требований и ограничений. Следовательно, альтернативные методы становятся еще более привлекательными.

### 1.1 Переработка резинотехнических отходов способом измельчения

В данный момент разработано и применяется большое количество методов по измельчению резины. Изделия из резины под большим давлением

пропускают через мелкие отверстия. РТО подвергают разрушению, ударным или взрывным воздействием. Производят воздействие электрическим разрядом, ударными волнами или электронным пучком. Для измельчения также используются лазеры.

В результате обработки получают различные по размерам частицы РТО. Это могут быть высокодисперсные порошки, где частицы достигают размеров менее 0,5 мм или более крупные размером от 0,5 до 3 мм. На рисунке 2 показаны результаты измельчения РТО.



Рисунок 2 – результаты измельчения РТО

Основным преимуществом данного метода является то, что при измельчении резина в большой степени сохраняет свои физические и химические свойства.

Широкую популярность получил метод криогенного измельчения отработанной резины. Он включает в себя замораживание резины с химическим агентом, таким как жидкий азот, ниже фазы стеклования. Затем резина подвергается напряжению до нужного значения. Криогенное уменьшение размеров производит резиновые материалы однородной геометрической формы и гладкой отделки, которые несколько напоминают разбитое стекло. В результате можно производить небольшие однородные изделия. В отличие от уменьшения размера с использованием шнековых прессов или крекерных мельниц этот метод не изменяет свойств материала. Криогенное уменьшение размера способно производить более гладкие и мелкие крошки, но является более дорогостоящим по сравнению с другими методами. [7]



### **1.1.1 Области применения**

Материалы, получаемые этим способом, нашли применение в различных сферах. Так они используются в качестве добавки в других резинотехнических изделиях. Однако большая часть исследований направлена на изучение возможности внедрения измельченных частиц резины в качестве заполнителя бетона.

#### **1.1.1.1 Производство бетона**

Бетон, подвергнутый замораживанию и оттаиванию, испытывает периодическое расширение и сжатие. Это движение вызывает напряжение внутри бетонной смеси, что в конечном итоге приводит к внутренним давлениям, превышающим предел прочности смеси на растяжение; разрыв происходит в виде растрескивания или крошения бетона. Включение резиновой крошки в состав бетонных смесей образует воздушные карманы и, следовательно, избыточный объем пор. Это позволяет происходить расширению и сжатию, что обеспечивает защиту от внутренних повреждений под давлением. Ожидается, что исследования позволят снизить затраты на техническое обслуживание и жизненный цикл, а также снизить общее воздействие на окружающую среду и выбросы углекислого газа [8].

В недавнем исследовании [9] рассматривали частичную замену мелких заполнителей тремя размерами резиновой крошки в бетонной смеси 60 МПа. Эксперименты контролировали соответствующие прочности на сжатие, растяжение при изгибе и отрыве, стойкость к истиранию и проникновению воды, а также стойкость смесей, содержащих 0 – 20 % каучука в качестве мелкодисперсного заполнителя; для усиления межфазной связи частиц резины и цемента добавляли 6 % кремнеземного дыма по массе цемента.

Различные исследования показали, что прорезиненный бетон с содержанием каучука до 12,5 % в дополнение к 9 % диоксида кремния в качестве связующего вещества проявляет минимальные потери прочности при сжатии, изгибе и отрыве, а также увеличение стойкости к истиранию и проникновению

воды и снижение водопоглощения прорезиненных образцов до 7,5 % по сравнению с обычными контрольными бетонными смесями. Это исследование поддерживает будущее использование резиновой крошки в высокопрочных бетонных компонентах, поскольку данные свидетельствуют об увеличении долговечности и минимальных потерях прочности; кроме того, обеспечение решений по переработке отработанных шин и сохранение природных заполнителей [10]. В таблице 1 приведены сравнение характеристик бетона с различным содержанием измельченной резины [11]

Таблица 1 – Характеристики бетона с различным содержанием резины

№	Содержание измельченной резины, %	Прочность на сжатие, Н/мм <sup>2</sup>	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пористость, %	Водопоглоще- ние, %
1	0	37,67	2216	5,8	6
2	1	37,87	2212,5	12,7	7,3
3	3	36,40	2206,6	14,5	7,7
4	5	34,07	2174,7	17	8,7
5	7	32,50	2149,1	19,3	9,6
6	10	29,20	2146,5	21	11,7
7	13	24,60	2145	24,3	12,3
8	15	21,30	2138,8	24,2	12,6
9	17	20,60	2125,4	24,9	15,9
10	20	17,90	2048,7	27,6	17,6

В соответствии с теми исследованиями, которые рассматривали кислотостойкость прорезиненного бетона, сделан вывод, что включение резиновых заполнителей повышает химическую стойкость в агрессивных средах [12]. Благодаря повышенной химической стойкости прорезиненных бетонов [13], прорезиненные бетонные изделия являются жизнеспособным и полезным продуктом для использования в морской среде, где условия способствуют воздействию кислых сульфатных почв и хлоридных ионов.

Хотя проведено уже множество исследований на тему внедрения измельченных отходов резины в бетон, большинство работ сводятся к одному. Идеально соотношение резинового заполнителя к бетону еще предстоит найти.

### **1.1.1.2 Дорожные материалы**

Было проведено несколько исследовательских работ по использованию измельченной резины шин в асфальтобетонном покрытии [14]. Реологические и другие свойства прорезиненных модифицированных связующих в различных условиях были всесторонне изучены [15]. Они использовали резиновую крошку и натуральный каучук в разных процентах для производства модифицированного битума. Их результаты показали, что добавление как резиновой крошки, так и латекса натурального каучука положительно влияет на эксплуатационные характеристики асфальтов, а модифицированный резиной асфальт обладает лучшей стойкостью к колее образованию. Они обнаружили, что в целом оба модифицированных образца показали лучшие результаты, чем не модифицированный контрольный образец. Кроме того, обнаружили, что добавление измельченной шинной резины в битум усиливает термическую устойчивость асфальта [16].

По мнению исследователей в Европе, крошка каучука, модифицированного битумом в зазоре градуированной асфальтобетонной смеси, оказалась решением проблемы экологического шума, создаваемого при соприкосновении колеса с дорогой. В этом исследовании асфальтобетонная смесь была приготовлена с 20 % резиновой крошкой по весу битума и снижение шума было обнаружено поглощением с полосой частот 2 Гц. [17].

Недавняя исследовательская работа в Италии подробно изучила влияние шинной резины и вторичной переработки асфальтового покрытия с помощью комплексного исследования, как в лаборатории, так и в полевых условиях. Результаты показали пониженную тепловую активность и отличные результаты. свойства сопротивления скольжению [18].

### **1.1.1.3 Системы сейсмической изоляции**

Проектирование строительных компонентов, способных выдерживать сейсмические нагрузки – это область, которая вызвала интерес многих исследователей и инженеров-строителей. Эти конструктивные элементы,

которые хорошо зарекомендовали себя и обычно состоят из срезных стен и поперечных креплений, изготовленных в соответствии строительным нормам и стандартам.

В настоящее время существует широкий выбор систем, которые в основном состоят из сложных механических компонентов, используемых для поддержки конструкции и гашения горизонтального удара. Эти системы очень дороги в реализации и часто выходят за рамки финансовых возможностей большинства компаний. Поэтому были проведены исследования альтернативных, экономически эффективных методов создания сейсмостойких конструкций.

Исследователи, изучив эффект использования отработанной резины, смешанной с грунтом, в качестве подушки между фундаментом и конструкцией для сопротивления землетрясениям сделали вывод, что отработанная резина обладает превосходными демпфирующими и сейсмоизоляционными свойствами. Было использовано имитационное моделирование землетрясений, которое подтвердило более ранние результаты, основанные на заранее заданных входных значениях, которые показали, что резиново-грунтовые смеси дают снижение горизонтального и вертикального ускорения грунта на 60-70% по сравнению с эталонным грунтом [19].

## **1.2 Регенерация отработанной резины**

Существует большое количество методов регенерации отходов резины. Для удобства исследователи сгруппировали их в три основные группы: физическая, химическая и биологическая девулканизация. Для всех этих методов характерен первый этап обработки РТО. Для начала отработанную резину отделяют от металлов и текстильных компонентов, после чего отделенная резины измельчается. В результате регенерации получается эмульсия, которая обладает схожие с каучуком свойства. Однако в результате внедрения полученного вещества в резиновые изделия в ее структуре возникает микронеоднородность, которая отрицательно сказывается на свойствах

конечного продукта. По этим причинам продукт регенерации в большей степени нашел применение в неответственных изделиях.

### **1.2.3 Физическая девулканизация**

Термическая девулканизация относится к способу регенерации резины путем воздействия на нее тепла в качестве источника энергии. Этот метод считается самым старым и наиболее простым [21].

Первоначально волокна текстиля и стали удаляются с помощью циклонного смесителя для увеличения площади обрабатываемой поверхности. Затем резиновую смесь измельчают и подвергают обработке в изолированном сосуде с использованием пара при давлении 15 бар или выше и температуре от 180 до 260 °C в течение половины дня. Затем обработанное сырье пропускают через систему обезвоживания для разделения резины и воды. Твердость материала увеличивается, что затрудняет общую обработку и в конечном итоге приводит к низкой степени девулканизации [22]. Этот недостаток распространяется и на другие методы девулканизации. Данный метод получает дальнейшее развитие, включаясь в другие технологии поскольку, нагрев является ключевым фактором для расщепления связей.

Так метод совмещения механической обработки и термического воздействия нашел применение в экструдерах. Где измельченная резина с помощью шнеков нагревается за счет непрерывной деформации или внешнего источника тепла. После чего расплавленный материал под давлением проходит через формующий инструмент определенной формы [23]. Принципиальная схема экструдера приведена на рисунке 3.

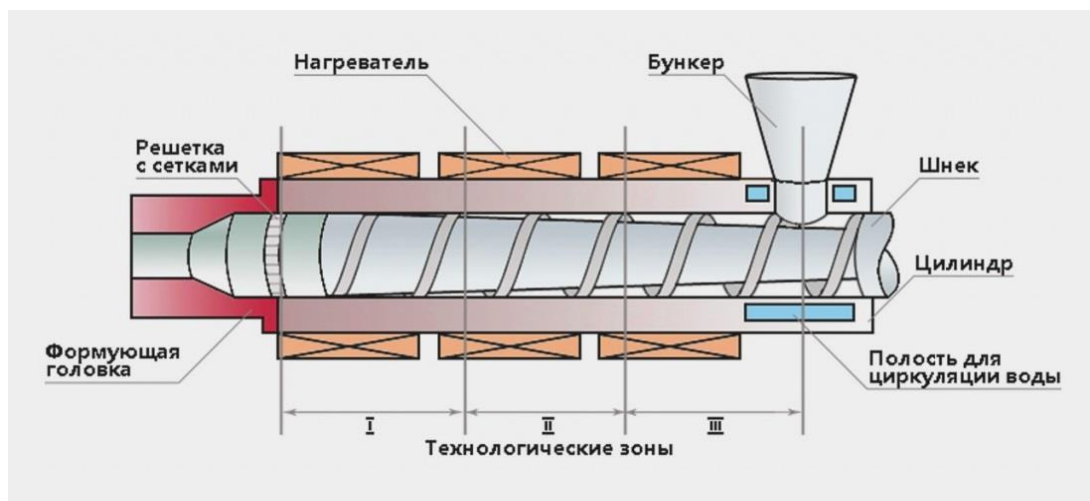


Рисунок 3 – Принципиальная схема экструдера

Наиболее исследованным механическим методом считается девулканизация микроволновым электромагнитным облучением.

Измельченная резина подвергается воздействию электромагнитного поля СВЧ в результате материал равномерно нагревается и происходит разрыв связей. Типичная СВЧ обработка представлена на рисунке 4.

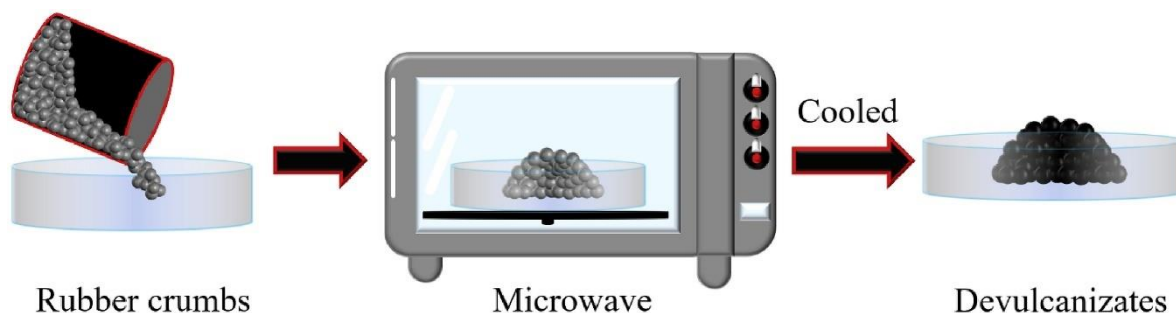


Рисунок 4 – Девулканизация методов микроволнового облучения

Несмотря на высокое восстановление свойств каучука, достигающее 90 – 95 %, из-за высокой стоимости оборудования этот процесс невыгоден с экономической точки зрения [24]. Кроме того, метод также не является промышленно жизнеспособным с точки зрения эксплуатационных условий из-за высоких тепловых потерь.

### 1.2.3 Химическая девулканизация

Химическая регенерация – это еще один из методов получения девулканизированной резины, где обработка осуществляется путем использования химического агента для расщепления РТО. Часто этот метод

сочетается с термической и механической обработкой для повышения эффективности [25], [26]. Агентами в процессе расщепления часто выступают органические и неорганические растворители и масла. На рисунке 5 представлен типичный метод химической регенерации.

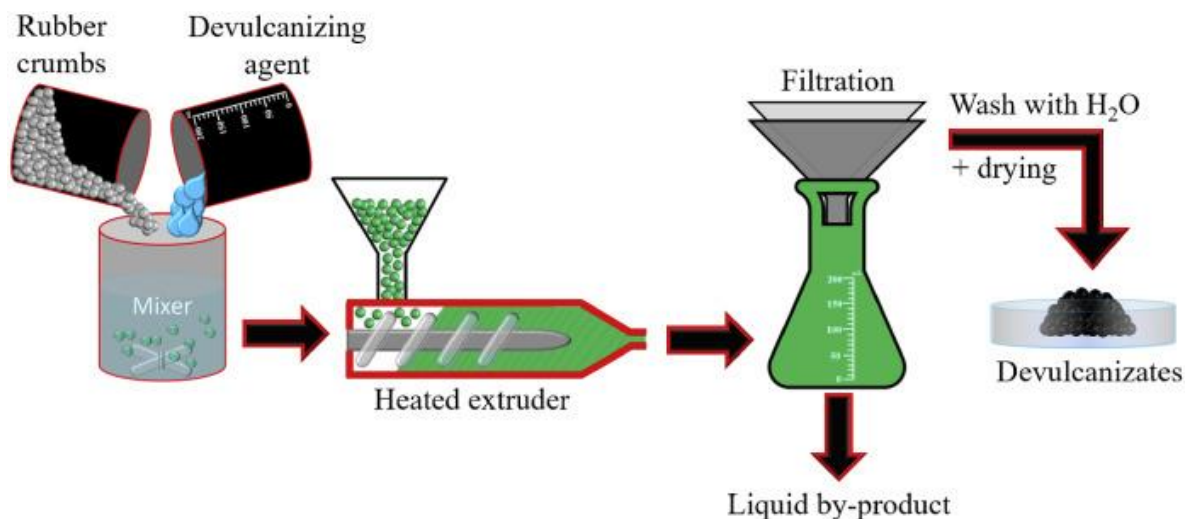


Рисунок 5 – Девулканизация химическим методом

Данный метод получил широкое направление исследований, поскольку рассматривается большой выбор возможных перспективных агентов [27].

Хотя в зависимости от технологического процесса подготовки резины и используемого агента свойства полученных материалов варьируются они сохраняют общие для данного метода недостатки.

#### 1.2.4 Биологическая девулканизация

Биологические методы регенерации направлены на удаление серных соединений из состава исходного материала. Процесс осуществляется с помощью окисляющих серу бактерий или грибов в водной суспензии. В процессе исследований используются различные бактерии и грибы, однако несмотря на это сложно рассматривать данный метод в промышленных масштабах поскольку он показал крайнюю неэффективность. Так при наблюдении за образцами в течении 40 дней было установлено, что максимальное удаление серы составило 4,7 % [28]. На рисунке 6 представлена типичная установка биологической девулканизации.

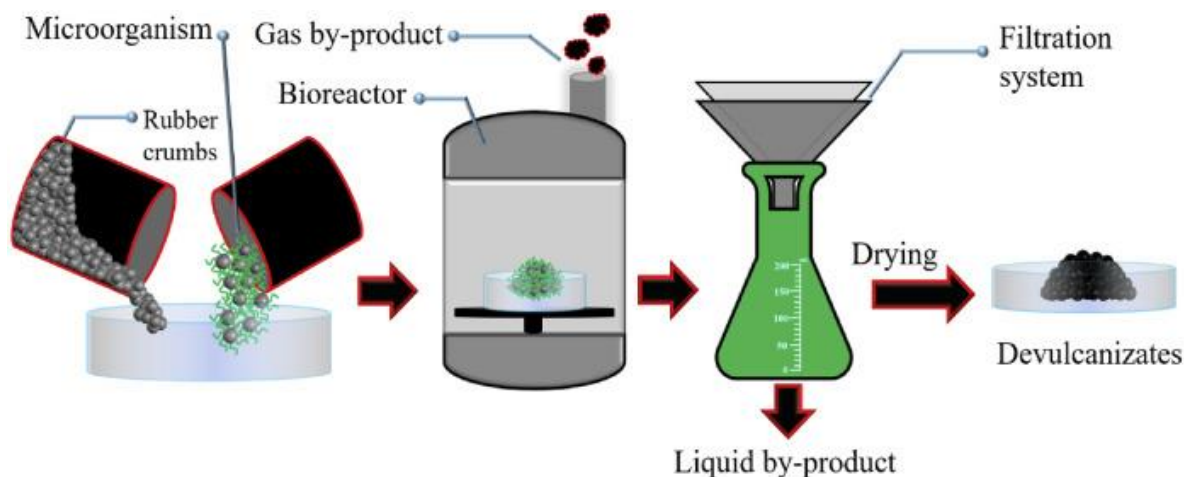


Рисунок 6 – Установка для биологической девулканизации

### 1.3 Пиролиз

Получение топлива из отработанных шин достигается путем многоступенчатой пиролитической обработки. Первоначальная обработка проводится для того, чтобы превратить цельные РТО в пригодную для использования резиновую стружку путем измельчения. Побочный продукт обработки подается в пиролитический реактор, который выводит твердые частицы сажи и парообразные нефть и газ, которые затем собираются. Во время горения в пиролитическом реакторе образуется углеводородный газ, который впоследствии улавливается и поступает нагревательный элемент. Так происходит снижение энергозатрат от внешних источников тепла.

Собранные пары нефти и газа перерабатываются в тяжелые и легкие эмульсии путем конденсации, после чего полученное топливо может быть продано, повторно использовано в системе переработки или дополнительно очищено в бензин или дизельное топливо. Вот что представляет из себя типичный процесс пиролиза резинотехнических отходов [29].

Получаемое в процессе топливо имеет спрос и часто используется в различных котлах, где оно сжигается. Главными недостатками этого метода остаются большие затраты энергии при первоначальной обработке резины, а также значительные выбросы углекислого газа, сажи и других вредных веществ в процессе переработки [30].



Степень первичных и вторичных реакций, а следовательно, и распределение получаемого продукта определяются условиями пиролиза, в частности, температурой, скоростью нагрева, временем пребывания и размером частиц резины. Следует отметить, что некоторые из этих условий сильно зависят от конструкции реактора, что очевидно с учетом большого разнообразия альтернативных технологий, представленных в литературе [31].

Фактически, реакторы пиролиза отработанной резины в основном применяются для валоризации биомассы, что объясняется некоторыми сходными характеристиками обоих видов сырья с точки зрения летучего и фиксированного содержания углерода.

### **1.3.1 Виды пиролиза**

Существует множество классификаций видов пиролиза в зависимости от условий эксплуатации, таких как скорость нагрева, время пребывания летучих веществ и температура. Таким образом, можно иметь общую простую классификацию как медленный и быстрый.

Пиролиз также может быть классифицирован на основе используемой среды, такой как окислительный пиролиз, гидропиролиз, паровой пиролиз, каталитический пиролиз и вакуумный пиролиз, а также в зависимости от системы нагревателя как микроволновый или плазменный пиролиз.

Обычно реакторы, в которых происходит перемешивание материала ассоциируются с быстрым пиролизом, в то время как реакторы, где материал остается статичным с медленным пиролизом. Однако стоит отметить, что в последних реакторах можно проводить быстрый пиролиз, регулируя скорость нагрева и время пребывания летучих веществ, в исследовательских целях.

#### **1.3.1.1 Медленный пиролиз**

Этот вид пиролиза, как следует из названия, рассматривает медленное пиролитическое разложение при низких температурах. Медленный пиролиз характеризуется низкими скоростями нагрева, относительно длительным

временем пребывания твердого вещества и пара (от нескольких минут до нескольких часов), а иногда и низкой температурой. Более длительное время пребывания приводит к ведущей вторичной конверсии первичных продуктов, получая больше кокса, смолы, а также термически стабильных продуктов [32]. Этот факт заставляет медленный пиролиз также называть карбонизацией. В отличие от быстрого пиролиза, целью медленного пиролиза является получение угля, хотя смола и газы также получаются, но не обязательно извлекаются.

### **1.3.1.2 Быстрый пиролиз**

В отличие от медленного пиролиза, быстрый пиролиз подразумевает быстрое термическое разложение, классифицируемое более высокими скоростями нагрева. Этот процесс обычно требует сырья с небольшими размерами частиц и устройств специальной конструкции, позволяющих быстро удалять выделяющиеся пары. Высокие скорости нагрева с коротким временем пребывания в горячей зоне и быстрое гашение летучих веществ способствуют образованию жидких продуктов. Поскольку летучие вещества, выделяющиеся в процессе пиролиза, конденсируются до того, как дальнейшая реакция расщепит более высокие молекулярные массы на газообразные продукты [33]. Таким образом, получается жидкое топливо с более высокой теплотворной способностью.

На самом деле быстрый пиролиз признан эффективным способом конверсии для производства жидкого топлива, химических веществ и производных продуктов с более высоким выходом. Обычно это около 50 - 60 % от первоначальной массы для резинового сырья.

### **1.3.1.3 Каталитический пиролиз**

Обычно каталитический пиролиз – это название, данное любому пиролизическому процессу, который включает в себя катализатор в процессе переработки с целью улучшения свойств конечных продуктов или повышения конечного продукта.

### 1.3.2 Энергетическая эффективность пиролиза

Энергия, необходимая для реализации процесса пиролиза, иногда называемая энтальпией или теплотой пиролиза, определяется как энергия, необходимая для поднятия исходного сырья от комнатной температуры до реакционной, а также энергия для преобразования исходного сырья в продукты пиролиза [34].

Потребность в тепле в процессе пиролиза может быть обеспечена различными источниками тепла:

- сжиганием вспомогательного топлива;
- сжиганием газа или твердой фракции, полученной в процессе;
- электрическим нагревом;
- использованием горячего песка, растворителей или расплавленных солей в качестве теплоносителей.

В начале процесса пиролиза органическое вещество в основном расщепляется на мелкие фракции, и эта реакция является экзотермической. При повышении температуры процесса некоторые первичные продукты расщепляются до вторичных и испаряются. Вторичный крекинг и испарение обычно суммируются как эндотермические реакции. Несмотря на эти факты, эндотермические реакции доминируют в энергетических потребностях процесса пиролиза.

Среди всех энергозатрат, участвующих в пиролизе, энтальпия реакции является наиболее представленной, поскольку она используется для проведения процесса. Установлено что различия между энтальпией для всех типов резины относительно их состава не являются незначительными. Так одним более раннем исследовании сообщается, что энтальпия реакции для образца резины составляет 267,6 кДж/кг [35]. В тоже время в других исследованиях значение энтальпии составляло 870, 550 и 646 кДж/кг [36], [37]. Стоит отметить, что пиролиз различных РТО проходил при равных значениях температуры равно 510 °С.

Исследователи также заявили, что более низкие скорости нагрева требуют меньше энергии для завершения пиролиза, но более длительное время

завершения. Напротив, более высокие скорости нагрева требуют больше энергии для завершения пиролиза, но имеют более короткое время завершения.

Можно сделать вывод, что хотя энергия, необходимая для приведения в действие пиролиза резины, весьма неоднородна, стоит отметить ее низкое значение по сравнению с теплотой сгорания резины 35 – 40 МДЖ/кг, а также значениями продуктов, полученных после пиролиза. Для летучих фракций это около 42 МДЖ/кг, а для твердых фракций 31 МДЖ/кг.

### **1.3.3 Преимущества и недостатки пиролиза**

Преимущество пиролиза состоит в том, что он позволяет отделять большинство примесей, таких как сера, от топлива перед их сжиганием [38]. При пиролизе до 70 % серы, первоначально содержащейся в резине, удерживается в качестве компонента корда, в то время как жидкие и газообразные продукты имеют относительно низкое содержание серы и пригодны для использования в качестве топлива с низким выбросом серы. Фактически до 90 % серы, содержащейся в резине, может оставаться в твердой и жидкой фракциях. Кроме того, обычный температурный пиролиз не способствует разделению неорганических материалов, так как опасные компоненты золы не испаряются, оставаясь в твердой фракции.

Ожидается, что пиролизные установки будут иметь минимальное воздействие на экологию, поскольку большая часть образующегося пиролизного газа сжигается в качестве топлива в процессе производства. Основными источниками выбросов являются летучие твердые частицы источники и утечки оборудования.

Одна примечательная проблема состоит в том, чтобы эффективно передавать тепло для управления процессом пиролиза таким образом, чтобы температура равномерно распределялась. Это препятствует его продвижению и его экономической и технической целесообразности.

Кроме того, продукты пиролиза являются более сложными с физико-химической точки зрения, чем продукты альтернативных термохимических

процессов, таких как сжигание. Этот факт также приводит к тому, что пиролиз отработанной резины еще не получил признания в промышленности, как хорошо известный процесс.

Кроме того, некоторые авторы отмечают, что отсутствие широкого рынка жидкой и твердой фракций означает, что массовый пиролиз не получит широкого распространения в промышленных процессах. Экономическая целесообразность процесса пиролиза в больших масштабах требует сбыта получаемой продукции.

#### **1.4 Вывод по главе 1**

На основании проведенного анализа можно сделать вывод что у каждого способа переработки РТО существуют свои преимущества и недостатки. Так измельчение отходов и дальнейшее использование в таком виде нашло применение не только в различных сферах промышленности, но и используется в более сложных процессах переработки. Хотя технически этот метод является одним из самых простых в реализации, это сказывается и на конечном экономическом эффекте реализации полученного материала.

В свою очередь регенерация не может считаться полноценным решением проблемы утилизации резинотехнических отходов, поскольку конечный продукт не может использоваться в ответственных изделиях, требующих определенных характеристик.

По мнению многих авторов пиролиз представляется более привлекательным методом по сравнению с другими термохимическими процессами из-за его незначительного воздействия на окружающую среду и возможности извлечения твердого и жидкого материала. Продукты пиролиза легко поддаются разделению и реализации по отдельности. Объем выпускаемых газов из установки пиролиза на тонну перерабатываемого сырья значительно меньше, чем объем от процесса сжигания резины.

Процесс пиролиза активно исследуются во многих странах и совершенствуется с каждым годом. Одним из перспективных методов пиролиза

считается паровая газификация. Этот метод отмечается значительно меньшим выделением углекислого газа и других соединений в процессе переработки.

Стоит отметить, что термометрия процесса переработки – это ключевой фактор для любого из рассмотренных методов.

## **2 Разработка АСУ установки термической переработки**

### **2.1 Описание технологического процесса**

В трубчатый реактор паровой газификации, работающий в периодическом режиме, загружается образец РТО массой 0,5 кг в сетчатый стакан, плотно зафиксированный в объеме реакционной камеры. Далее реактор плотно герметизируется верхней крышкой с помощью фланцевого соединения и открывается шаровый кран для постоянной продувки паром и высвобождения образующихся в ходе процесса разложения РТО парогазовой смеси.

Водяной пар генерируется в парогенераторе, который снабжается с помощью насосов химически обработанной водой из резервуара. Расход пара регулируется игольчатой задвижкой на входе в реактор и контролируется с помощью жидкостного расходомера, установленного перед парогенератором. Далее образующийся пар с температурой 120 °С проходит через первую ступень пароперегревателя и через дополнительный теплообменник, в котором происходит его перегрев до необходимой температуры с помощью воздухонагревателя.

Образующиеся в процессе паровой газификации РТО парогазовые продукты конденсируются в трубчатом конденсаторе, после которого получаемые жидкофазные продукты сливаются в отстойную емкость.

Для поддержания постоянной равномерной температуры, ведется контроль температуры внутри реактора и в межтрубном продуваемом зазоре. Контроль ведется непрерывно с помощью установленных термопар подключенных к многоканальному термопарному регистратору.

Паровая газификация исследуемых образцов изношенных шин проводится при температуре пара 500 °С расходом 5 кг/ч во временном интервале 1 час. Масса образца составляет 0,5 кг. Схема технологического процесса представлена на рисунке 7.

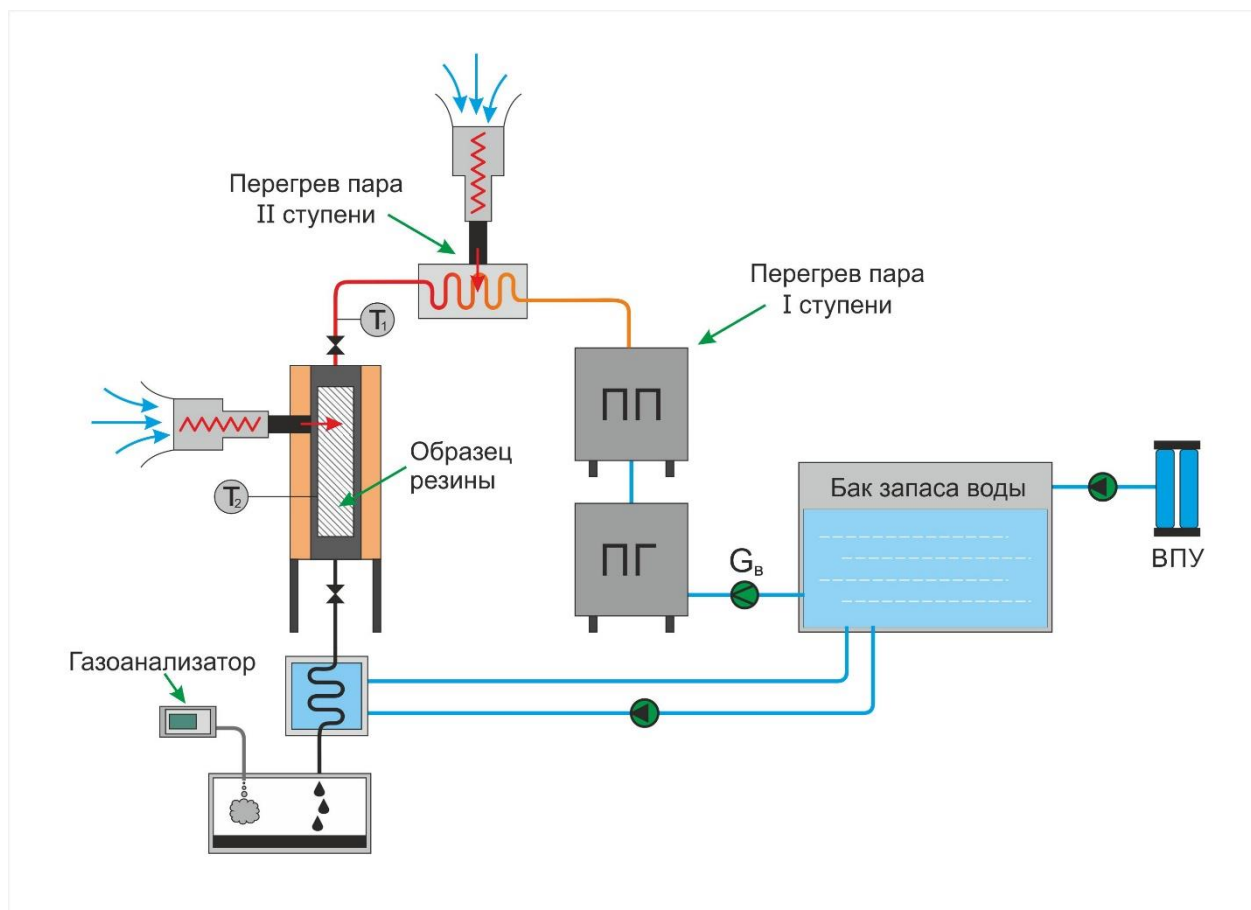


Рисунок 7 – Пиролиз резины

## 2.2 Разработка функциональной схемы

Функциональная схема автоматизации – технический документ, который входит в основной комплект рабочих чертежей проектируемой СА, в соответствии с ГОСТ 21.408-2013. ФСА создается для отображения значимых технических решений.

На функциональной схеме автоматизации представляют технологическое оборудование, а также связующие компоненты (например, трубо- и газопроводы) автоматизированной системы, средства автоматизации и контуры, отвечающие за управление, регулирование и контроль.

На рисунке 8 представлена разработанная функциональная схема установки термической переработке резины.



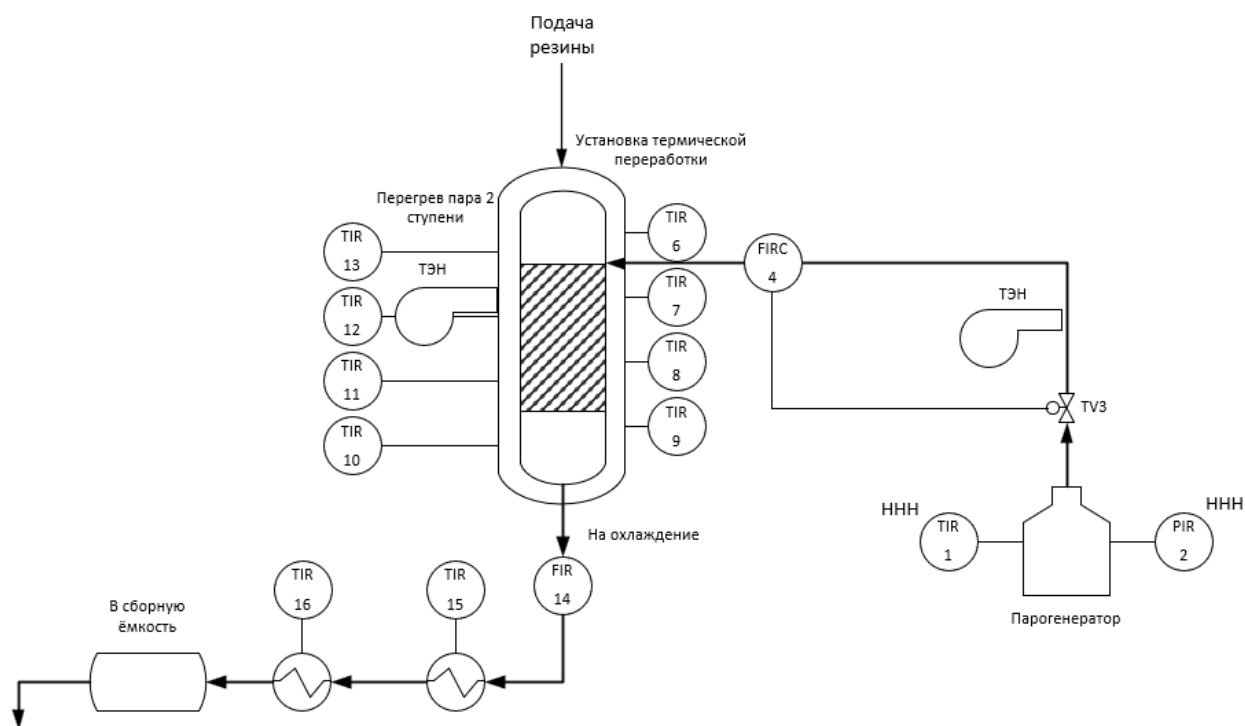


Рисунок 8 – функциональная схема

## 2.3 Выбор средств реализации

### 2.3.1 Выбор датчика температуры

В качестве датчика измерения температуры была выбрана термопара ТД711 с удлинительным проводом компании Термодат. Данная термопара предназначена для измерения температуры жидких, газообразных и твердых тел, а также имеет широкий диапазон измерения температуры рабочей среды. Датчик представлен на рисунке 9. Технические характеристики датчика представлены в таблице 2 [39].



Рисунок 9 – датчик температуры Термодат ДТ711

Таблица 2 – характеристик датчика температуры

Параметр	Значение
Диапазон измеряемых температур, °С	от минус 100 до плюс 800
Модель преобразователя	ТД711
Тип	хром-алюминий
Цена, руб.	1090

Для опроса датчиков температуры был выбран модуль аналогового ввода с универсальными входами для подключения датчиков Термодат РВ4/12УВ/Т. Технические характеристики модуля представлены в таблице 3 [40]. Прибор предназначен для измерения температуры и последующей передачи измеренных данных на ПК или ПЛК. Модель представлена на рисунке 10.

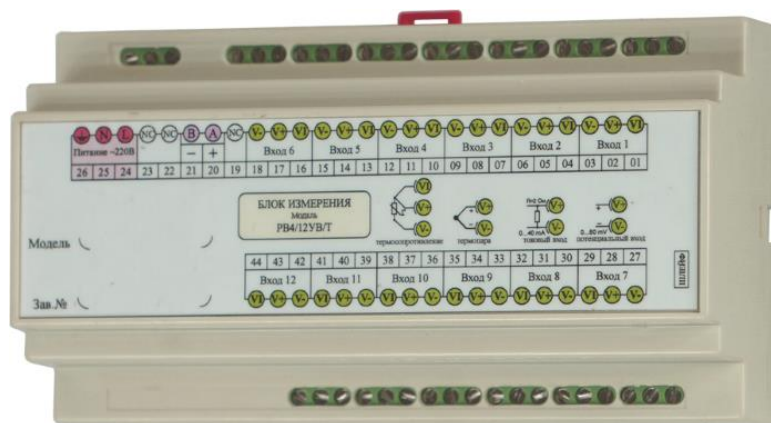


Рисунок 10 – Термодат РВ4/12УВ/Т

Таблица 3 – Технические характеристики модуля аналогового ввода

Параметр	Значение
Количество входов, шт.	12
Диапазон температур измерения, °С	от минус 270 до плюс 2500
Допустимое напряжение питания, В	от 160 до 250
Потребляемая мощность, Вт	не более 20
Условия эксплуатации, °С	от минус 5 до плюс 45
Цена, руб.	13400

В качестве средства опроса датчиков температуры был выбран Модуль аналогового ввода с универсальными входами для подключения 12 датчиков российского производства Термодат РВ4/12УВ/Т. Данный прибор способен

преобразовывать выходного сигнала термосопротивлений и термопар в цифровой сигнал.

Для выполнения поставленной задачи используется самописец Термодат 25М/5. Он подключается к измерительному блоку при помощи собственного интерфейса. На рисунке 11 представлен Термодат 25М/5 [41].

Прибор предназначен для выполнения следующих функций:

- архивирование данных во внутреннюю память самописца;
- настройка уставки температуры;
- настройка предупредительной и аварийной сигнализации;
- преобразование цифрового сигнала в значение температуры в зависимости от выбранного типа датчика температуры;
- вывод на экран самописца текущее показание температур по каждому измеряемому каналу;
- вывод графиков температуры по каждому датчику температуры непосредственно на экране самописца;
- передача данных самописца при помощи интерфейса RS-485 используя протоколы Modbus-RTU, Modbus-ASCII и проприетарный протокол Termodat.



Рисунок 11 – Термодат 25М/5

Для подключения к ПК используется конвертер RS-485 – USB.

### 2.3.2 Выбор датчика уровня

Поскольку было решено, что в процессе разработки АСУ использование российского оборудования будет предпочтительней. Были рассмотрены датчики уровня компании Owen. В результате исследования продукции компании был выбран поплавковый датчик уровня ПДУ-1.1. На рисунке 12 представлен датчик уровня ПДУ-1.1. Технические характеристики представлены в таблице 4 [42].



Рисунок 12 – Датчик уровня

Таблица 4 – Характеристики датчика уровня

Параметр	Значение
Количество сигнализируемых уровней	2
Максимальная коммутируемая мощность, Вт	10
Максимальный коммутируемый ток, А	0,5
Максимальное коммутируемое напряжение, В	180
Максимальная длина штока до нижнего уровня, мм	2500
Плотность измеряемой среды, г/см <sup>2</sup>	0,70
Температура контролируемой среды, °С	От минус 40 до плюс 105
Давление контролируемой среды, МПа	1,6
Степень защиты	IP68
Цена, руб.	1740

### 2.3.3 Выбор исполнительного механизма

Мною был выбран привод SIEMENS SKC60 [43]. У этого привода реализуется линейное перемещение штока до 40 мм. Асинхронный мотор (с

напряжением питания 230 В, потребляемой мощностью 20 Вт и моментом 2800 Н) обеспечивает трехпозиционную постоянную скорость реверсивного перемещения штока. Следовательно, при дискретном изменении сигнала выхода ПЛК в диапазоне от 0 до 24 В скорость устанавливается постоянной – от 0 до 0,33 мм/с при открытии и от 0 до 2 мм/с при закрытии. Привод представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Электропривод SIEMENS SKC62

Общее перемещение штока осуществляется от 0 до 40 мм. Время перемещения штока составляет 120 с при открытии и 20 с при закрытии. При этом расход изменяется в пределах от 0 до 100 м<sup>3</sup>/ч.

## **2.4 Подбор и настройка программного обеспечения**

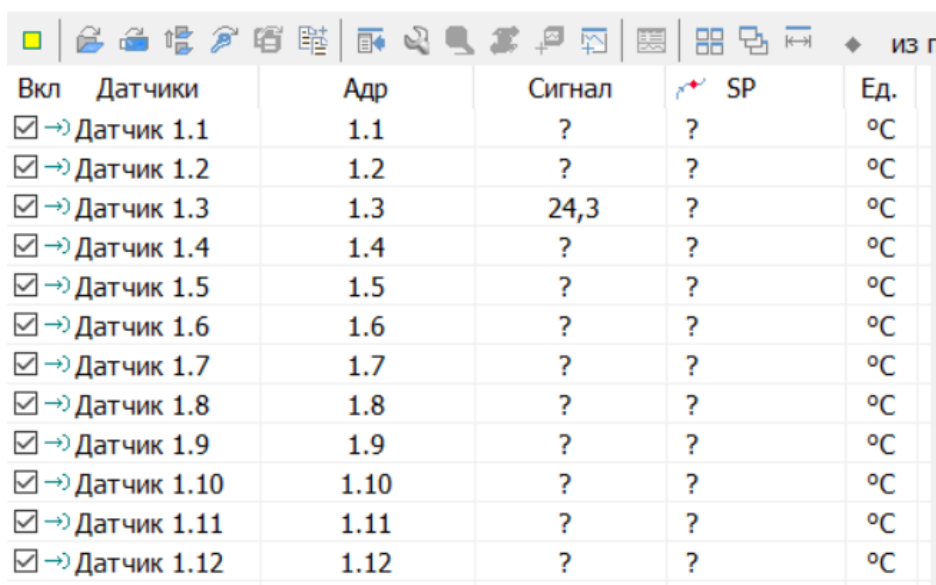
В качестве ПО для работы с используемым оборудованием была выбрана программа, разработанная компанией Термодат – TermodatNet. Программа TermodatNet обеспечивает взаимодействие пользователя и приборов Термодат, Мерадат и Гигротерм объединенных двухпроводными линиями по интерфейсу RS-485, либо в сетях Ethernet по протоколу TCP/IP.

Программа позволяет:

- Автоматическое преобразование данных с самописца.
- Отображение текущих показаний всех датчиков с приборов в виде графиков.
- Просмотр измеренных значений в виде таблицы.
- Хранение измерений в файлах.
- Скачивание архивов измеренных значений с приборов, выбирая интервал времени измерения.
- Работа с базой данных MS Access.
- Сохранение данных в формате MS Excel.
- Командная строка.
- Математический виртуальный датчик.
- Работу в режиме сервер/клиент для раздачи и получения данных с приборов по сети TCP/IP.
- Возможность создания мультиязычного интерфейса.

Всё это позволяет сохранить данные при непредвиденном завершении работы программы или обрыве связи с самописцем.

На рисунке 14 приведен результат подключения и настройки программы для получения измеренных показаний термопары для третьего канала связи.



Вкл	Датчики	Адр	Сигнал	SP	Ед.
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.1	1.1	?	?	°C
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.2	1.2	?	?	°C
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.3	1.3	24,3	?	°C
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.4	1.4	?	?	°C
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.5	1.5	?	?	°C
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.6	1.6	?	?	°C
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.7	1.7	?	?	°C
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.8	1.8	?	?	°C
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.9	1.9	?	?	°C
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.10	1.10	?	?	°C
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.11	1.11	?	?	°C
<input checked="" type="checkbox"/>	→ Датчик 1.12	1.12	?	?	°C

Рисунок 14 – Отображение измеренных термопарой температур

## **2.5 Разработка SCADA системы**

Выбор SCADA системы производился исходя из следующих требований:

1. низкая стоимость;
2. совместимость с распространенными СУБД;
3. неограниченное время разработки;
4. знакомый интерфейс.

Под данные требования подходит ПО Simple-SCADA. На данном этапе работа будет производиться в нём.

Для реализации автоматизированной системы управления установкой термической переработки резины была выбрана ДЕМО-версия SCADA системы Simple-Scada. Ограничением данной версии является максимальное количество внешних тегов, равным 64 [44]. На данном этапе этого вполне достаточно для вывода данных на HMI.

Возможности Simple-Scada:

- поддержка скриптов;
- импорт в базы данных;
- создание системы отчётов;
- web-клиент;
- поддержка работы OPC UA и OPC DA серверов;
- одновременная работа до трёх проектов на сервере;
- хранение журнала действий оператора;
- отправка E-mail, SMS, Telegram;
- резервирование серверов.

### **2.5.1 Реализация OPC сервера**

В качестве OPC сервера было выбрано ПО производства компании ИнСАТ «Modbus RTU/ASCII/TCP - Modbus Universal MasterOPC Server». Данный выбор был сделан на основе следующих соображений:

- поддержка протоколов Modbus RTU/ASCII/TCP;

- бесплатная неограниченная по времени работы версия, но ограниченная по количеству тэгов (разрешается использоваться максимум 32 тэга) версия;
- удобный интерфейс;
- работа в режиме OPC DA (Data Access) и OPC UA (Unified Architecture) сервера;
- в качестве операционной системы, на которой предполагается использовать SCADA, была выбрана OS Windows 10;
- как и большинство современных SCADA систем, работа OPC DA сервера завязана на компоненте Windows DCOM (Distributed COM). Это исключает возможность работы на отличных от Windows платформах.

OPC UA – последняя по времени выпуска спецификация, не использует технологию Microsoft COM, что предоставляет кроссплатформенную совместимость. А дальнейшем планируется переход именно на эту спецификацию OPC с целью отвязки от конкретной ОС и использования той ОС, которая будет удобна разработчику.

На рисунке 15 продемонстрирован вывод на OPC сервер значения датчиков температур (значение в 3200 обозначает обрыв связи).

Имя	Рег...	Адрес	Значение	Качество	Время (UTC)	Тип в сервере
Node1.Device...	INP...	(0x0000) 0	3200	GOOD	2020-08-25 14:27:0...	float
Node1.Device...	INP...	(0x0001) 1	3200	GOOD	2020-08-25 14:27:0...	float
Node1.Device...	INP...	(0x0002) 2	24.400000	GOOD	2020-08-25 14:27:0...	float

Рисунок 15 – Вывод температур измерения на OPC сервер

## 2.5.2 Реализация экранных форм

На рисунке 16 демонстрируется экранная форма, которую будет видеть оператор. Для полноценной работы требуется указать теги для датчиков. Вентиляторы на данной экранной форме – тепловые пушки, подогревающие пар и поддерживающие температуру внутри установки.



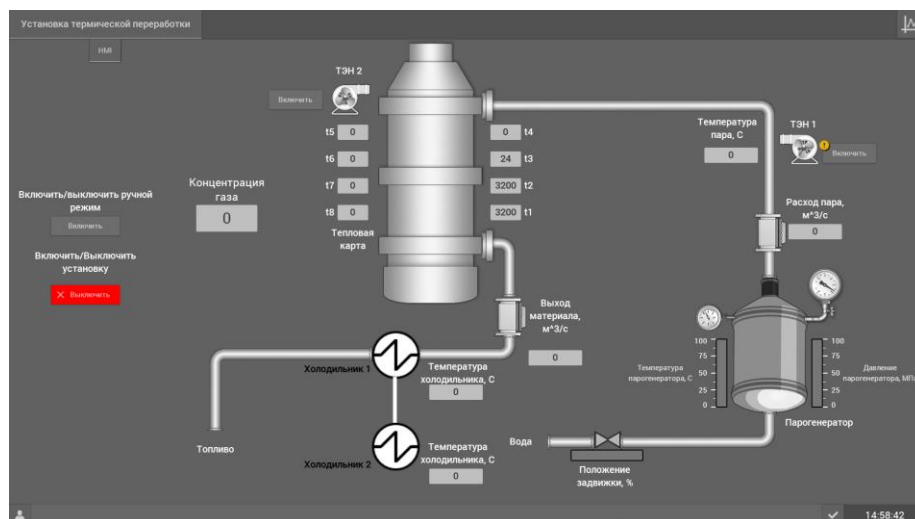


Рисунок 16 – Экран НМІ

Данная НМІ позволяет перевести установку в ручной режим, вручную открывая задвижку и включая/выключая ТЭНы.

Внизу данной экранной формы выводятся сообщения об предаварийном и аварийном режиме работы парогенератора (уровень давления или температуры слишком высок).

Линии трендов находятся в отдельной вкладке. На них демонстрируется изменение измеряемых параметров. В данном случае на экран выводится информация об изменении температуры в 8-ми точках внешней стенки установки и информация о текущем давлении и температуре в парогенераторе.

Данная SCADA система опрашивает датчики и выдаёт управляющий сигнал посредством OPC сервера.

### 2.5.3 Опрос датчиков температуры

Хотя описанная выше программа TermodatNET и владеет большим количеством преимуществ, у неё есть один серьёзный недостаток – её невозможно напрямую подключить к SCADA-системе и с помощью неё невозможно опрашивать другие аналоговые датчики (например, газоанализаторы, датчики давления и т.д.).

Данные в SCADA удобно передавать при помощи OPC сервера. Программа TermodatNET не предназначена для работы в данном режиме.

Хотя данное ПО может выступать в роли ТСР/IP сервера, с которых можно запросить необходимые данные, намного удобнее передавать данные с прибора на OPC сервер. Добавление дополнительных компонентов ведёт к излишнему усложнению реализации системы автоматического управления. Система должна быть интуитивно-понятно не только разработчику, но и тому, кто будет эту систему эксплуатировать.

Модуль аналогового вывода может передавать данные при помощи протоколов Modbus RTU, Modbus ASCII и проприетарного протокола Termodat.

На рисунке 17 отображается результат опроса датчиков построения графиков средствами SCADA.

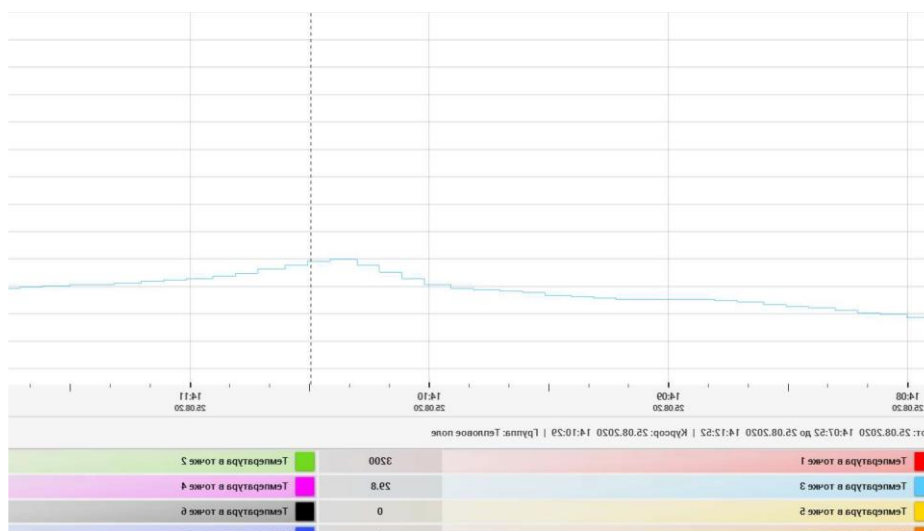


Рисунок 17 – Отображение линии тренда температуры по третьему каналу измерения

На рисунке 18 демонстрируется экспорт данных в MS Excel. Так реализуется задача архивирования данных.

1	ID	Timestamp	Value	Quality
612	2	14:02:00	23,5	1
613	2	14:02:01	23,60000038	1
614	2	14:02:12	23,5	1
615	2	14:02:31	23,70000076	1
616	2	14:02:37	23,60000038	1
617	2	14:07:05	23,60000038	1
618	2	14:07:06	23,79999924	1
619	2	14:07:07	23,79999924	3
620	2	14:07:27	25,29999924	2
621	2	14:07:27	25,29999924	1
622	2	14:07:55	25,70000076	1
623	2	14:07:59	25,70000076	1
624	2	14:08:00	25,89999962	1
625	2	14:08:06	25,89999962	1
626	2	14:08:43	26,89999962	1
627	2	14:08:48	27	1
628	2	14:09:12	27	1
629	2	14:09:13	27,10000038	1
630	2	14:09:49	27,79999924	1
631	2	14:09:54	28,10000038	1
632	2	14:10:00	28,10000038	1
633	2	14:10:01	28,5	1
634	2	14:10:18	29,89999962	1
635	2	14:11:00	28,5	1
636	2	14:11:01	28,39999962	1
637	2	14:11:06	28,39999962	1

Рисунок 18 – Экспорт данных из SCADA

### 3 Исследование горючих характеристик полученного жидкого топлива.

#### 3.1 Разработка схемы стенда

Для проведения исследований по изучению характеристик жидких углеводородов, полученных методом паровой газификации изношенных автомобильных шин. Необходимо разработать установку позволяющую воссоздать процесс горения углеводородов.

Ключевые требования к проектируемой установке:

- контролируемость процесса горения;
- возможность измерения параметров процесса;
- фиксация технических характеристик исследуемого образца;
- возможность работать при различных температурных режимах.

Для представленных требований был разработан стенд для исследования капельного горения жидкого топлива. Схема стенда представлена на рисунке 19.

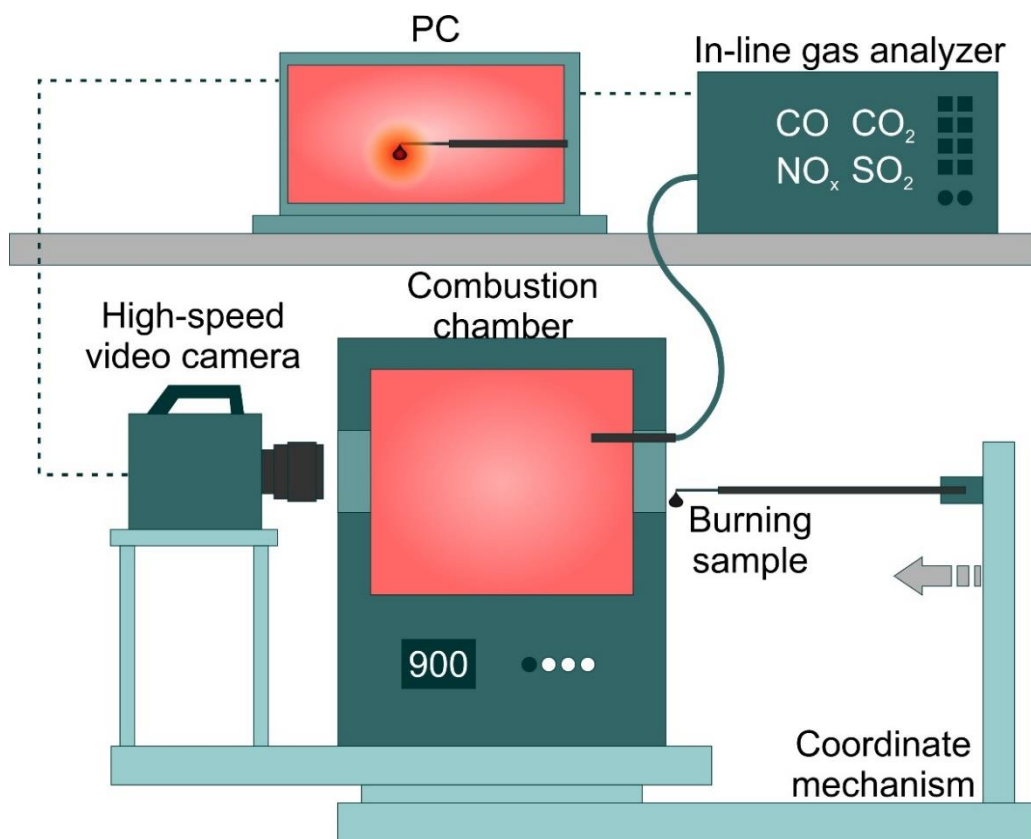


Рисунок 19 – Схема экспериментального стенда для исследования процесса капельного горения жидкого топлива

Основными элементами стенда являются: камера сгорания в виде терморегулируемой печи; платформа координатного механизма, предназначенного для ввода в печь капли жидкого топлива с погрешностью перемещения в пространстве менее 1 мм; поточный газоанализатор.

## **3.2 Выбор средств реализации стенда**

### **3.2.1 Выбор камеры сгорания**

Для реализации стенда необходимо было создать камеру сгорания, оснащенную средствами нагрева и постоянного поддержания заданной температуры. Для исследования образцов необходима среда с температурой воздуха до 800 °С. Следовательно, камера должна вырабатывать необходимое количество тепла и поддерживать этот уровень.

Для реализации поставленной задачи было рассмотрено несколько вариантов. Первый это собственно ручное конструирование котла с необходимыми нагревательными элементами и достаточной теплоизоляцией для поддержания заданной температуры. Однако это весьма сложный и затратный по времени процесс, связанный с работами с специальными, порой вредными веществами. Вторым вариантом было рассмотрено использование готовой муфельной печи с последующей адаптацией под наш проект.

В ходе работы над проектом был выбран второй вариант и подобрана подходящая по техническим характеристикам муфельная печь. Она соответствовала всем необходимым параметрам. Печь представлена на рисунке 20. Параметры печи представлены в таблице 5 [45].



Рисунок 20 – Муфельная печь

Таблица 5 – Характеристики муфельной печи «Спутник»

Параметр	Значение
Максимальная температура, °С	1200
КПД, %	30
Потребление, кВт/ч	2
Цена, руб.	14000

В дальнейшем печь подверглась технологическим изменениям, для соответствия поставленным задачам.

В состав печи входит PID регулятор Rex-c100, который обладает дисплеем для задания требуемой температуры, а также предназначен для регулирования температуры в камере сгорания печи. Регулятор представлен на рисунке 21. После внесения требуемых изменений печи была произведена настройка PID регулятора.



Рисунок 21 – Rex-c100

### 3.2.2 Выбор исполнительного механизма

В разработанном плане проведения эксперимента образец с помощью исполнительного механизма помещается в разогретую до заданного значения среду. Для этого был произведен выбор привода. Ключевыми критериями для выбора была стоимость привода, мощность и способ управления. После исследования по ключевым критериям был выбран шаговый двигатель Nema 17, представленный на рисунке 22. Подобные приводы используются в небольших ЧПУ станках для работы с металлом, пластиком и древесиной.

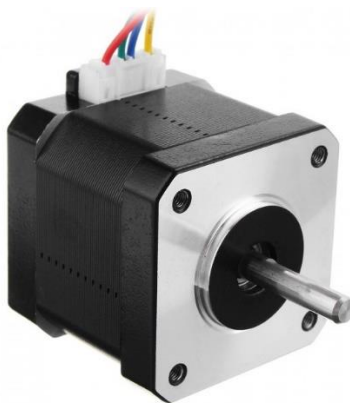


Рисунок 22 – Шаговый двигатель Nema 17

Для управления приводом используется драйвер A4988. Данный драйвер предназначен для управления биполярным шаговым двигателем, который работает от питания 8 – 35 В. Драйвер дешевый, обладает простым алгоритмом управления и позволяет «разбивать» шаги привода, что значительно увеличивает точность расположения образца в камере сгорания. Вид драйвера представлена рисунке 4.



Рисунок 23 – Драйвер A4988

### 3.2.3 Выбор микроконтроллера

В качестве управляющего оборудования был выбран микроконтроллер Arduino Nano. Его краткие технические характеристики приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики Arduino Nano

Параметр	Значение
Рабочее напряжение, В	5
Цифровые входы/выходы	14
Аналоговые входы	8
Флеш-память, Кб	16
ОЗУ, Кб	2
Тактовая частота, МГц	16

### 3.2.4 Выбор термопары

В качестве датчика измерения температуры была выбрана термопара ТД711 с удлинительным проводом компании Термодат. Данная термопара предназначена для измерения температуры жидких, газообразных и твердых тел, а также имеет широкий диапазон измерения температуры рабочей среды до +800 °С. Датчик представлен на рисунке 24.

Для подключения термопары к Arduino потребуется цифровой преобразователь. Был выбран распространённый преобразователь MAX31855. Он часто используется в система с использованием Arduino. На рисунке 5 показан преобразователь MAX31855.

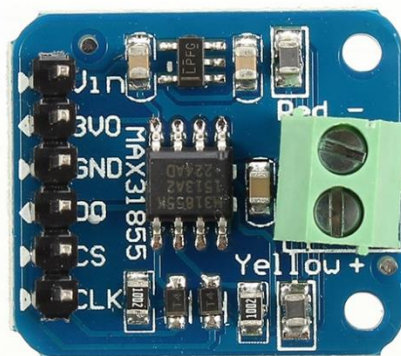


Рисунок 24 – MAX31855

На основании выбранного оборудования была составлена принципиальная схема управления приводом, представленная на рисунке 25.



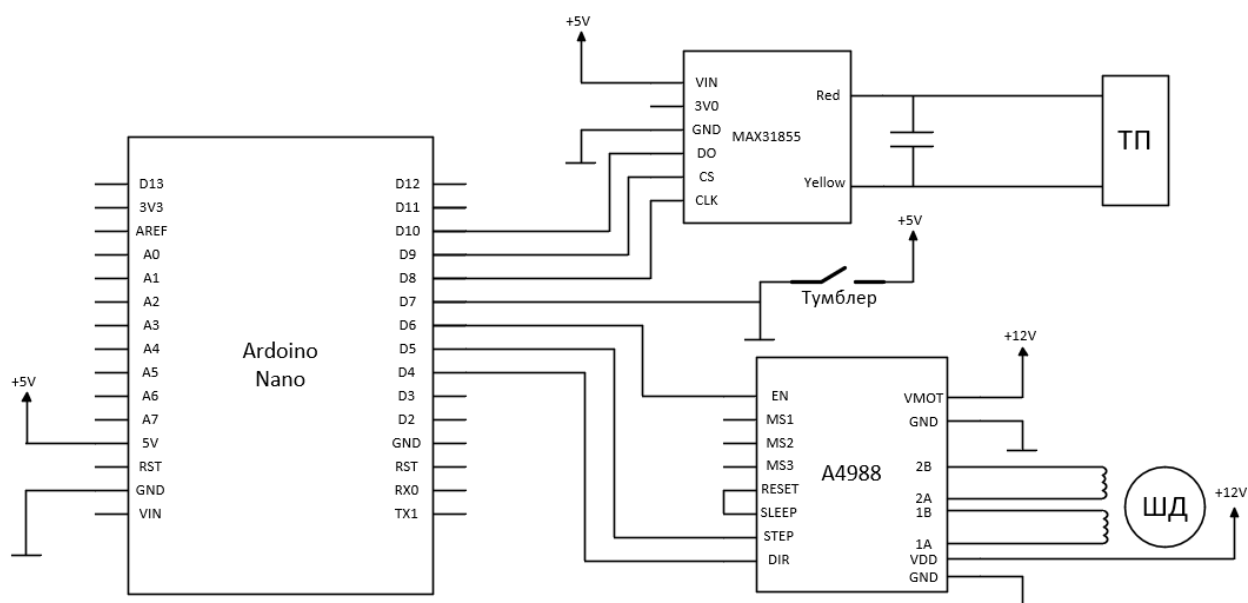


Рисунок 25 – Принципиальная схема

### 3.3 Проведение исследования

#### 3.3.1 Исходные данные для проведения эксперимента

Для проведения исследования характеристик жидких углеводородов полученных в результате паровой газификации резинотехнических отходов были использованы 4 образца различных «летних» шин.

Случайным образом были отобраны 4 образца изношенных летних шин. После чего все образцы были подвергнуты измельчению на примерно одинаковые, небольшие куски. Каждой из получившихся партий был присвоен свой номер от S1 до S4. Далее был изучен элементарный состав образцов. Его результаты можно увидеть в таблице 7.

Таблица 7 – Элементарный состав образцов

Элементарный состав, %	S1	S2	S3	S4
C	84,5	84,2	85,4	81,9
H	6,9	7,0	6,9	7,2
N	-	-	-	1,7
S	1,7	1,7	1,6	1,3
O	2,6	2,3	2,3	2,1

Уже на этом этапе можно сделать вывод, что рассматриваемые образцы имеют похожий элементарный состав, однако присутствуют и некоторые различия.

После выявления элементарного состава образцы поочередно загружаются в стакан и подвергаются процессу паровой газификации при температуре 500 °С и постоянном расходе пара 5 кг/ч. Далее полученный сконденсированный углеводородный продукт необходимо отделить от воды.

Для проведения сравнительной оценки получаемых жидких углеводородных продуктов, в работе был использован образец классического мазута, имеющий широкое распространение в топливно-энергетическом комплексе [46]. Условное обозначение в работе S5.

### **3.3.2 Описание эксперимента**

Методика исследования процессов зажигания и горения одиночных капель, исследуемых образцов жидких углеводородов включала несколько этапов. В терморегулируемой печи устанавливалась требуемая температура в интервале от 450 до 700 °С, с промежуточным шагом 50 °С. Она постоянно регистрировалась хромель-алюмелевой термопарой. Данный диапазон соответствует температурным условиям подачи распыленных жидких топлив в топочную камеру современных котельных установок [47].

Далее капля жидкого топлива с помощью механического дозатора наносилась на металлический стержень-держатель координатного механизма, ход которого калибровался по заданной координате в центр камеры сгорания и приводился в действие с помощью ПК. Продольный и поперечный размеры капли составляли около 2,5 и 1,3 мм соответственно. Одновременно с началом движения штока с каплей топлива в сторону камеры сгорания проводилась видеофиксация. Уходящие газы фиксировались поточным газоанализатором.

Сравнительная оценка характеристик процессов зажигания и горения при различных температурах греющей среды проводилась посредством анализа времени задержки зажигания и пламенного горения, которое фиксировалось с помощью скоростной видеокамеры. Временем задержки зажигания считалось

время от момента входа держателя с каплей жидкого углеводородного топлива в фокус камеры до начала образования видимого свечения поверхности топлива, что соответствовало началу процесса горения. Период горения фиксировался, начиная с момента образования видимого свечения и заканчивая исчезновением пламени.

Эксперименты выполнены в идентичных и хорошо воспроизводимых условиях при комнатной температуре 20 °С и относительной влажности 65 %. Значения систематических погрешностей при измерениях времен задержки зажигания и горения одиночных капель углеводородов и их начального характерного размера, и температуры окислителя составляют во всех экспериментальных сериях менее 4 %. Процесс зажигания топлива считался устойчивым в случае регистрации хорошо видимого пламени и последующего полного сгорания капли. В настоящей работе было выполнено не менее 10 экспериментов для каждого образца при фиксированной температуре внешней среды.

### **3.4 Результаты проведенных экспериментов**

#### **3.4.1 Капельное зажигание и горение жидких углеводородов**

На рисунке 26 представлены результаты экспериментальных исследований процессов зажигания и горения одиночных капель исследуемых углеводородов при температуре 700 °С. Снимки были получены с помощью установленной высокочастотной камеры.

Процесс зажигания и горения исследуемых углеводородов можно разделить на несколько этапов. Первый этап – это время инертного нагрева одиночной капли углеводорода. На втором этапе происходят процессы интенсивного испарения, образование летучих веществ и формирование смеси горючих газов. Третий этап – интенсивное химическое взаимодействие горючего и окислителя в высокотемпературной газовой среде. Четвертый этап – гетерогенное горение коксового остатка [48].

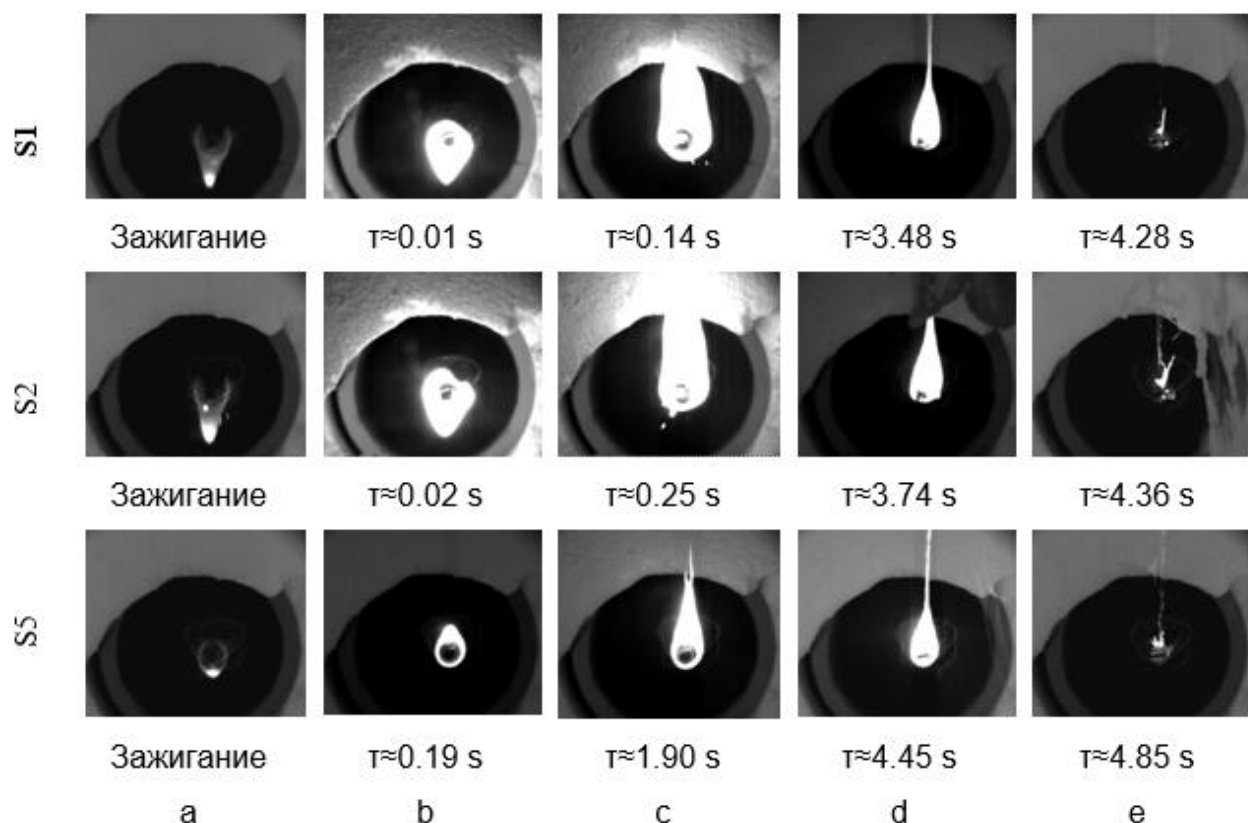


Рисунок 26 – Типичные видеокадры зажигания и последующего горения капель углеводородов при температуре греющей среды 700 °С (а - зажигание, б - образование пламени с последующим расширением фронта горения, с - повышение интенсивности пламенного горения, d - сужение фронта горения, е - образование коксового остатка)

Наибольшее время пламенного горения во всем исследуемом температурном интервале 500 – 700 °С наблюдается для образца мазута, характеризующегося меньшим значением содержания легких углеводородов, имеющих более низкую реакционную способность. Это наглядно показано на рисунке 27, где приведены графики зависимости времени пламенного горения одиночных капель углеводородов от температуры греющей среды в диапазоне от 500 до 700 °С

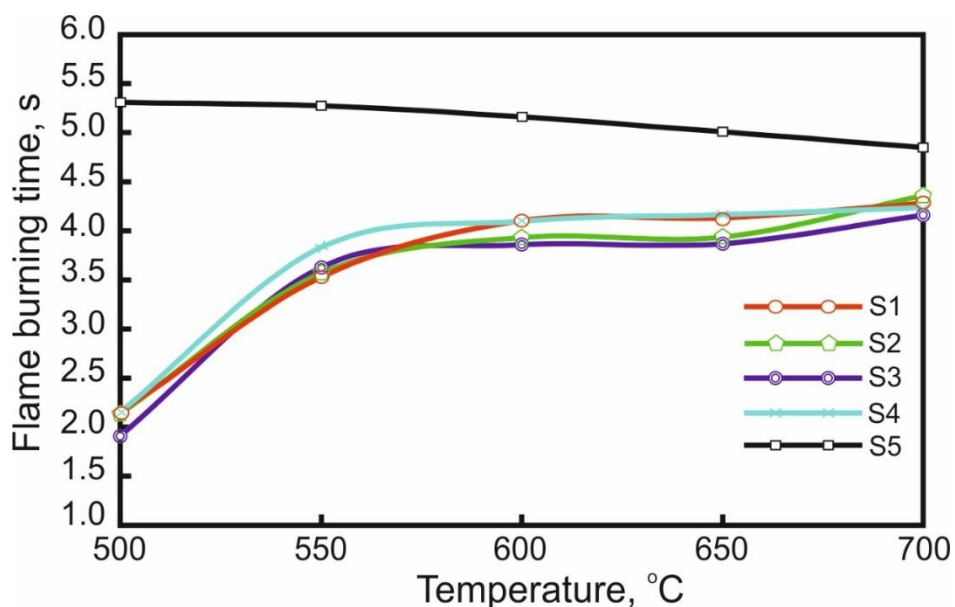


Рисунок 27 - Зависимость времени пламенного горения одиночных капель углеводородов от температуры греющей среды 500-700 °С

Как можно заметить из рисунка с увеличением температуры среды время пламенного горения капли переработанных образцов увеличивается. В среднем значение изменяется с 2,1 до 4,3 с. Данный эффект может быть связан с поверхностным коксованием капли в результате резкого повышения температуры греющей среды, что затрудняет диффузионное взаимодействие окислителя с горючими компонентами жидких углеводородов [48]. Однако в тоже время с ростом температуры у образца мазута время пламенного горения уменьшается.

Наиболее сильное изменение времени пламенного горения образцов S1-S4 было зафиксировано при температуре среды = 550 °С. В более высоком температурном интервале (550 – 700 °С) динамика изменения времени горения замедляется.

Полученные данные также позволили исследовать вопрос зависимости времени зажигания одиночных капель углеводородов от температуры греющей среды. Так на рисунке 28 представлена зависимость в тепловом диапазоне от 450 до 700 °С.

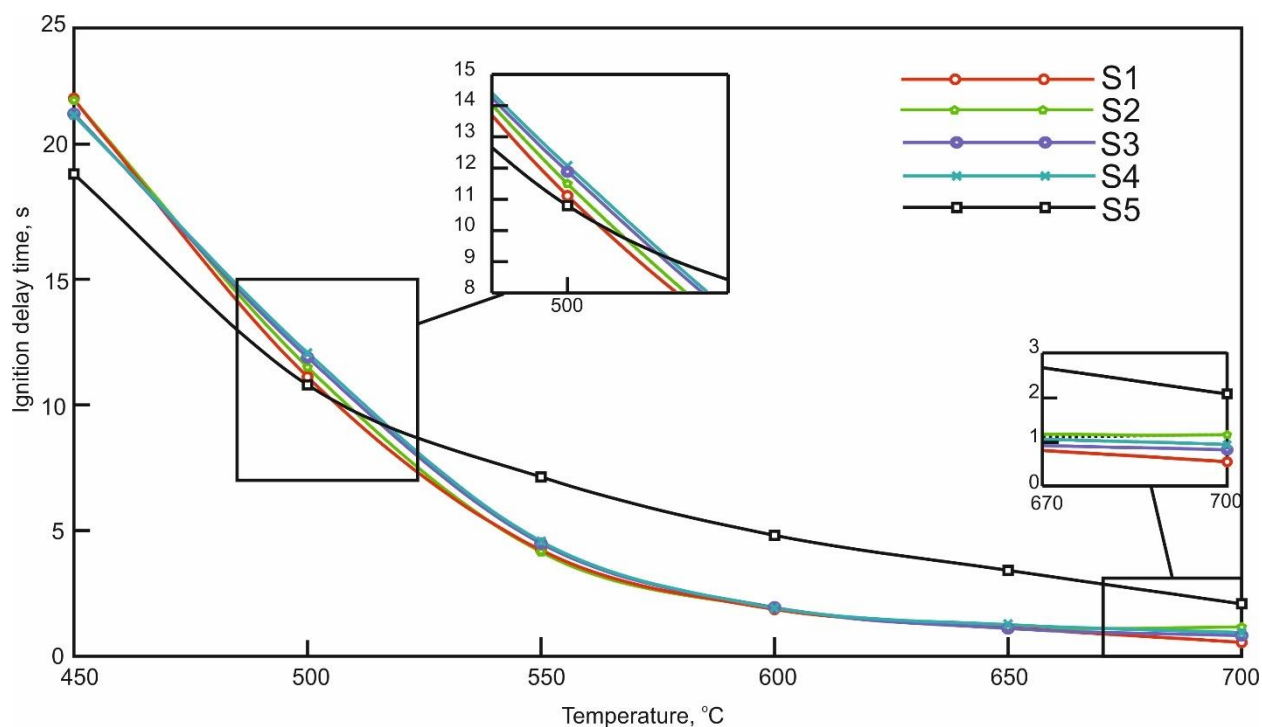


Рисунок 28 – Зависимость времени задержки зажигания одиночных капель углеводородов от температуры греющей среды

Согласно данным рисунка 28, существенное отличие в характере изменения времени задержки зажигания от увеличения температуры греющей среды из всех рассматриваемых образцов наблюдается для мазута. Данное отличие объясняется элементарным составом, а также наличием легких соединений в составе образцов жидких углеводородов S1 – S4, полученных в результате паровой газификации изношенных автомобильных шин [49].

Наибольшее значение времени задержки зажигания исследуемых образцов наблюдается при  $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В свою очередь наименьшее значение задержки при данной температуре наблюдается для образца мазута, которое составляет 19,2 с. Для образцов S1 – S4 данный параметр определяется во временном интервале от 21,5 до 22,1 с.

С повышением температуры греющей среды от  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  среднее время задержки зажигания рассматриваемых образцов сокращается в 19,2 раза и характеризуется экспоненциальной зависимостью. Важно отметить, что при температуре греющей среды  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , параметр задержки для всех рассматриваемых образцов определяется в близком по значению временном интервале от 10,8 до 12,1 с.

Вероятнее всего это связано с тем, что исследуемые образцы углеводородов, полученные в результате паровой газификации изношенных автомобильных шин, характеризуются наличием воды, интенсивность испарения которой увеличивается с ростом температуры греющей среды. В дальнейшем это способствует более раннему парообразованию и выделению горючих продуктов, инициирующих газофазное загорание топливной капли.

Можно заметить, что для образца мазута в отличие от остальных образцов наблюдается снижение динамики изменения задержки загорания. Это наглядно проявляется в увеличении разницы задержки между рассматриваемыми образцами на 37 %. При температуре среды равной 650 °C замечена максимальная разница значений параметров задержки воспламенения, которая составила 67,4 %.

### 3.4.2 Анализ газофазных продуктов горения

На рисунке 29 представлены максимальные концентрации выделения различных газофазных соединений ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ) в продуктах горения исследуемых образцов жидких углеводородов при температурах греющей среды от 500 до 700 °C.

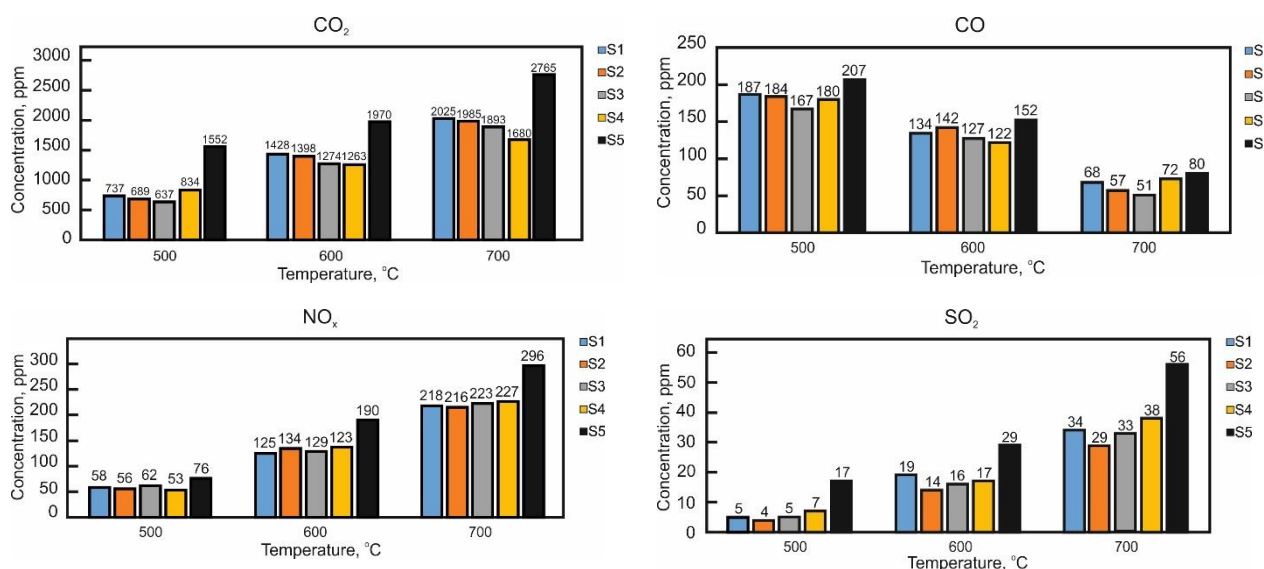


Рисунок 29 – Концентрационные максимумы выделения газофазных соединений ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_2$ ) в продуктах горения жидких углеводородов при различной температуре греющей среды

Видно, что с ростом температуры греющей среды наблюдается снижение концентрации СО в составе газофазных продуктов горения, в среднем на 64%. В свою очередь, с ростом температуры в камере для всех рассматриваемых образцов наблюдается увеличение концентрации СО<sub>2</sub> в газофазных продуктах горения в среднем от 900 до 2070 ppm. При этом изменение зависимости максимальной концентрации выделения СО<sub>2</sub> от роста температуры греющей среды имеет линейный характер.

Для образцов жидких углеводородов, полученных в результате паровой газификации изношенных автомобильных шин, наблюдаются меньшие значения концентрационных максимумов СО и СО<sub>2</sub> в среднем на 16 и 39% соответственно в отличие от образца мазута, что коррелирует с результатами определения элементного состава исследуемых продуктов [50].

Для образца мазута в отличие от других исследуемых жидких углеводородов были зафиксированы большие значения концентрационных максимумов выделения SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> в среднем на 51 и 27% соответственно, что обусловлено более высоким значением содержания серы и азота в составе данного образца. С ростом температуры в камере наблюдается увеличение концентрационных максимумов выделения оксидов серы и азота в среднем в 5 и 4 раза соответственно.

### **Вывод по главе 3**

В работе выполнен сравнительный анализ технических характеристик и процесса горения одиночных капель жидких углеводородов, полученных методом паровой газификации изношенных автомобильных шин с традиционным жидким энергетическим топливом – нефтяной мазут.

Исходя из результатов определения характеристик и состава исследуемых образцов жидких углеводородов, можно сделать вывод, что топлива, полученные в результате паровой газификации изношенных автомобильных шин, по сравнению с нефтяным мазутом характеризуются сравнимой теплотворной способностью, меньшей плотностью, вязкостью и



содержанием серы, что свидетельствует о возможности их применения в качестве котельных топлив.

При зажигании одиночных капель исследуемых образцов жидких углеводородов при температуре греющей среды от 450 до 700 °C установлено, что при  $T = 450$  °C время задержки зажигания образцов S1 – S4 в сравнении с нефтяным мазутом в среднем выше на 13.5%. С повышением температуры греющей среды до 700 °C время задержки зажигания всех рассматриваемых образцов сокращается по экспоненциальной зависимости. При этом в температурном интервале 550 – 700 °C зажигание образцов жидких углеводородов S1 – S4 в отличие от нефтяного мазута происходит быстрее в среднем на 55,7 %.

Наибольшее время пламенного горения на всем исследуемом температурном интервале от 500 до 700 °C было зафиксировано для образца нефтяного мазута, которое было больше, чем для образцов, полученных в результате паровой газификации изношенных автомобильных шин в среднем на 30%. При этом с ростом температуры греющей среды от 500 до 700 °C для нефтяного мазута время горения сокращался с 5,3 до 4,9 с. В свою очередь для жидких углеводородов S1 – S4 с ростом температуры от 500 до 700 °C наблюдалась обратная зависимость, проявляющаяся в увеличении времени пламенного горения в среднем с 2,1 до 4,3 с.

При анализе газофазных продуктов горения ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_2$ ) для образцов жидких углеводородов, полученных в результате паровой газификации изношенных автомобильных шин в отличие от нефтяного мазута, были зафиксированы меньшие значения концентрационных максимумов выделения обозначенных газофазных соединений. В основном это связано с различным элементным составом групп, исследуемых образцов S1-S4 и S5, а также отличием кинетики их процесса горения.

Таким образом паровая газификация может рассматриваться в качестве эффективного метода переработки изношенных автомобильных шин с

получением жидкого углеводородного топлива, которое может быть использовано в качестве котельного топлива.

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки.
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью работы является – Разработка автоматизированной системы управления установки термической переработки резины.

#### **4.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

В настоящее время на территории РФ представлено небольшое количество компаний, занимающихся производством оборудования для переработки резины и твердых бытовых отходов. В результате исследования рынка можно выделить несколько компаний, производящих подобные установки. Это уже зарекомендовавшая себя на рынке ООО «Пиролиз» и их пиролизная установка «Барс». А также более молодая компания «Пиролиз-Экопром» и изготавливаемая ими «Т-ПУ1».

Анализ конкурентных технических решений проводится с помощью оценочной карты для сравнения конкурентных технических решений,

приведенной в таблице 8. Для составления оценочной карты используются имеющаяся информация по разрабатываемой АСУ установки термической переработки резины.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Актуальность разработки	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
2. Простота реализации	0,08	4	3	4	0,32	0,24	0,32
3. Эффективность переработки	0,12	5	3	3	0,6	0,36	0,36
4. Доступность сырьевых материалов	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
5. Производительность установки	0,11	3	4	3	0,33	0,44	0,33
6. Качество выходного продукта	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
7. Безопасность эксплуатации	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
2. Цена	0,11	5	4	2	0,55	0,44	0,22
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
4. Стоимость контрольного оборудования	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
5. Срок выхода на рынок	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
<b>Итого</b>	1	50	47	42	4,25	3,87	3,35

Расчет конкурентоспособности определяется по формуле (1):

$$K = \sum B_i * Б_i \quad (1)$$

Где  $K$  – конкурентоспособность проекта;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$Б_i$  – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что текущее исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

#### 4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Матрица SWOT-анализа приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Доступность сырья. С2. Использование только отечественных комплектующих. С3. Простота технологического процесса. С4. Низкая стоимость контрольно-измерительного оборудования.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Высокая степень загрязнения колонны. Сл2. Небольшой объем камеры для загрузки материала. Сл3. Узкий диапазон перерабатываемого сырья. Сл4. Отсутствие возможности реализации непрерывного процесса переработки.
<b>Возможности:</b> В1. Наблюдается повышение спроса в сфере переработки отходов. В2. Низкая конкуренция на рынке отечественного оборудования по переработки резины. В3. Изменение отечественной политики в отношении переработки и формирование новой законодательной базы в этой отрасли.	В1С1С3 – Доступность перерабатываемого сырья и простота технологического процесса ускорит создание новых комплексов по переработки. В2С1С3С4 – Недорогие и простые в исполнении установки будут иметь спрос на отечественном рынке.	В1Сл3 – Установки позволяющие перерабатывать большой спектр отходов могут быть предпочтительней для массовой реализации. В2Сл2 – Большие высокотехнологичные зарубежные установки могут вытеснить дешевые отечественные.

## Продолжение таблицы 9 – Матрица SWOT-анализ

	В3С2С4 – Внимание к проблеме переработки отходов и политика импортозамещения позволит установкам на базе отечественных комплектующих иметь преимущества перед конкурентами.	В3Сл1 – Изменение требований эксплуатации оборудования для переработки может привести к необходимости изменения конструкции установки.
<b>Угрозы:</b> У1. Наличие более дорогостоящих и современных зарубежных разработок. У2. Развитие других способов переработки резины. У3. Внедрение дополнительных требований к установкам подобного типа.	У1С2С4 – Недорогие установки отечественного производства могут составить конкуренцию зарубежным. У2С1 – Огромное количество накопленного сырья позволяет развивать различные способы переработки. У3С3 – Простота технологического процесса позволит легко вести изменения в конструкцию установки.	У1Сл3 – Использование в качестве сырья только резины позволяет сконцентрироваться на этом направлении. У2Сл1Сл4 – Развитие других способов переработки может способствовать модификации существующих решений.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В качестве исполнителей в проекте представлены руководитель и инженер. Перечень этапов, работ и исполнителей приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Изучение существующих установок	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Построение моделей и проведение экспериментов	Инженер
	6	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, инженер
Проведение основных работ	7	Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ	Инженер
	8	Монтаж контура контроля температуры установки	Инженер
	9	Подбор и настройка ПО для опроса датчиков	Инженер
	10	Монтаж модуля низкотемпературного пиролиза	Инженер
	11	Монтаж и настройка электропривода	Инженер
	12	Проектирование SCADA-системы	Инженер
	13	Разработка HMI форм	Инженер
Обобщение и оценка результатов	14	Обработка полученных данных	Инженер
	15	Оценка правильности полученных результатов	Руководитель, инженер
Оформление отчета по НИР	16	Составление пояснительной записки	Инженер

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит

от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож\ i}$  используется следующая формула (2):

$$t_{ож\ i} = \frac{3*t_{min\ i} + 2*t_{max\ i}}{5}, \quad (2)$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;  
 $t_{min\ i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{max\ i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{\chi_i} \quad (3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;  
 $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;  
 $\chi_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4):

$$T_{ki\text{ инж}} = T_{pi} * k_{\text{кал}} \quad (4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  
 $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  
 $k_{\text{кал}}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле (5):

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вык}} - T_{\text{пр}}} \quad (5)$$

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

где  $T_{\text{кал}}$  – общее количество календарных дней в году;  
 $T_{\text{вык}}$  – общее количество выходных дней в году;



$T_{np}$  – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 11.

Таблица 11 – Временные показатели проведения научного исследования



















Название работы	Трудоемкость работы						Длительность работы в рабочих днях, $T_{pi}$	Длительность работы в календарных днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , чел-дни			
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер		
1.Составление и утверждение технического задания	3	-	5	-	3.8	-	3.8	6
2.Подбор и изучение материалов по теме	-	5	-	7	-	5,8	5.8	9
3.Изучение существующих установок	-	4	-	5	-	4.4	4.4	7
4.Календарное планирование работ по теме	2	2	3	3	2.4	2.4	2.4	4
5.Построение моделей и проведение экспериментов	-	3	-	5	-	3.8	3.8	6
6.Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	2	2	3	4	2.4	2.8	2.8	4
7.Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ	-	3	-	4	-	3.4	3.4	5
8.Монтаж контура контроля температуры установки	-	5	-	6	-	5.4	5.4	8
9.Подбор и настройка ПО для опроса датчиков	-	2	-	4	-	2.8	2.8	4

Продолжение таблицы 11 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работы						Длительность работы в рабочих днях, $T_{pi}$	Длительность работы в календарных днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , чел-дни			
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер		
10.Монтаж модуля низкотемпературного пиролиза	-	5	-	6	-	5.4	5.4	8
11.Монтаж и настройка электропривода	-	6	-	10	-	7.6	7.6	11
12.Проектирование SCADA-системы	-	4	-	7	-	5.2	5.2	8
13.Разработка HMI форм	-	3	-	4	-	3.4	3.4	5
14.Обработка полученных данных	-	7	-	9	-	7.8	7.8	12
15.Оценка правильности полученных результатов	4	2	6	4	4.8	2.8	4.8	7
16.Составление пояснительной записки	-	7	-	9	-	7.8	7.8	12
Итого	12	62	18	89	14.4	72.8	77	114

На основе полученной таблицы 11 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ с разбивкой по месяцам и декадам. График работ приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Календарный план-график выполнения проекта

№	Вид работ	Исп	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Исп1	6												
2	Подбор и изучение материалов по теме	Исп2	9												
3	Изучение существующих установок	Исп2	7												
4	Календарное планирование работ по теме	Исп1 Исп2	4												
5	Построение моделей и проведение экспериментов	Исп2	6												
6	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Исп1 Исп2	4												
7	Разработка функциональной схемы автоматизации	Исп2	5												
8	Монтаж контура контроля температуры установки	Исп2	8												
9	Подбор и настройка ПО	Исп1 Исп2	4												
10	Монтаж модуля низкотемпературного пиролиза	Исп2	8												
11	Монтаж и настройка электропривода	Исп2	11												
12	Проектирование SCADA-системы	Исп2	8												
13	Разработка HMI форм	Исп2	5												
14	Обработка полученных данных	Исп2	12												
15	Оценка полученных результатов	Исп1 Исп2	7												
16	Составление пояснительной записки	Исп2	12												
Примечание:  – Исп. 1 (научный руководитель),  – Исп. 2 (инженер)															

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты – это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данный расчет включает расходы на приобретение и доставку основных и вспомогательных материалов, необходимых для опытно-экспериментальной проработки решения. Сюда включается стоимость материалов необходимых для оформления требуемой документации и макета проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле (6):

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \cdot Ц_i \cdot N_{расхi}, \quad (6)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

$Ц_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов;

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

В таблице 13 сведены данные о материальных затратах.

Таблица 13 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Термопара ДТ711	Шт.	8	1000	8000
Регистратор температуры Термодат 25М5	Шт.	1	42210	42210
Модуль аналогового ввода Термодат РВ4/12УВ	Шт.	1	13400	13400
Муфельная печь	Шт.	1	14200	14200
Драйвер шагового двигателя	Шт.	1	100	100
Arduino Nano	Шт.	1	250	250
Блок питания	Шт.	1	320	320
Шаговый двигатель Nema 17HS4401	Шт.	1	1550	1550
Итого:				72030

#### 4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле (7):

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (7)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле (8):

$$A = H_A * И * \frac{m}{12}, \quad (8)$$

где  $И$  – итоговая сумма, тыс. руб.;

$m$  – время использования, мес.

Результаты расчета приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	$H_A$ , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Парогенератор ЭПГ-20-Т	1	7	3	14	65500	2293
2	Нагнетатель воздуха	2	5	3	20	32000	1600
3	Газоанализатор Комета-М	1	6	4	17	70000	3967
Итого:							7860

### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, и дополнительную заработную плату (9):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} + Z_{\text{доп}} \quad (9)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (10% от основной).

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле (10):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_p, \quad (10)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная зарплата рассчитывается по формуле (11):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_{\text{д}}}, \quad (11)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня –  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней –  $M = 10,3$  месяца, 6-дневная рабочая неделя.

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн., равный 251.

Месячный должностной оклад работника (12):

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) * k_{\text{р}} \quad (12)$$

где  $Z_{\text{мс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,2;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = 33174 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 64689,3 \text{ руб.},$$

Для инженера:

$$Z_{\text{м}} = 18426 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 35930 \text{ руб.},$$

Расчет основной платы представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Оклад	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	33174	0.3	0.2	1.3	64689,3	2708.53	14.4	18 622.51
Инженер	18426	0.3	0.2	1.3	35930,7	1504,4	72.8	109520,32
Итого:								128142,83

#### 4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле (13):

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * З_{\text{осн}}, \quad (13)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (0,1).

Для руководителя:

$$З_{\text{доп НР}} = 0,15 * 18622,51 = 2793,38$$

Для инженера:

$$З_{\text{доп И}} = 0,15 * 109520,32 = 16428,05$$

#### 4.3.5 Отчисление во внебюджетные фонды

В данном разделе отражаются обязательные отчисления по установленным законодательствам Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формуле (14):

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (14)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Расчет отчислений приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений	Отчисления
Руководитель	18 622,51	2793,38	0,3	6424,77
Инженер	109520,32	16428,05		37784,51
Итого:				44209,28

#### 4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и



телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле (15):

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) * k_{\text{нр}}, \quad (15)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

$$З_{\text{накл}} = (72030 + 7862 + 128142,83 + 19221,43 + 44209,28) * 0,16 = 43434,49$$

#### 4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции

Определение бюджета затрат приведено в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты НТИ	72030
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	7860
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	128142,83
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	19221,43
5. Отчисление во внебюджетные фонды	44209,28
6. Накладные расходы	43434,49
7. Бюджет затрат НТИ	314898

#### 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

##### 4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

Для получения интегрального показателя финансовой эффективности научного исследования оценивают бюджет затрат некоторых вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

1. Пиролизная установка «Барс»;
2. Пиролизная установка «Т-ПУ1».

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (16)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп } i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 314898$  руб,

$$I_{\text{финр}}^{\text{т.пр}} = \frac{314898}{345638} = 0,91$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{т.пр}} = \frac{3500000}{4200000} = 0,83$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{2950000}{3500000} = 0,84$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом

признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

#### 4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности эффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР ( $I_{pi}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра, оценка приведена в таблице 18.

Таблица 18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.1	Исп.2
1. Безопасность при использовании установки	0,15	5	5	4
2. Стабильность работы	0,15	5	4	5
3. Производительность	0,2	3	5	4
4. Эффективность переработки	0,3	4	2	2
5. Материалоёмкость	0,20	3	4	4
Итого:	1	4,13	3,75	3,55

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p \text{ т.пр}} = 0,15 * 5 + 0,15 * 5 + 0,2 * 3 + 0,3 * 4 + 0,20 * 3 = 4,13$$

$$I_{p \text{ исп.1}} = 0,15 * 5 + 0,15 * 4 + 0,2 * 5 + 0,3 * 2 + 0,20 * 4 = 3,75$$

$$I_{p \text{ исп.2}} = 0,15 * 4 + 0,15 * 5 + 0,2 * 4 + 0,3 * 2 + 0,20 * 4 = 3,55$$

#### 4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки.

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (17):

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{исп.}i}^{\text{финр}}} \quad (17)$$

$$I_{\text{т.пр}} = \frac{4,13}{0,91} = 4,54$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{3,75}{0,83} = 4,52$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{3,55}{0,84} = 4,22$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта. Сравнительная характеристика приведена в таблице 19.

Таблица 19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,91	0,83	0,84
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,13	3,75	3,55
3	Интегральный показатель эффективности	4,54	4,52	4,22
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,9	0,8

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

#### 4.5 Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 77 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 73 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 15 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 314898 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,91, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,12, по сравнению с 3,75 и 3,55;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,54, по сравнению с 4,52 и 4,22, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## **5 Социальная ответственность**

### **Введение**

В данной работе рассматривается автоматизированная система управления установки термической переработки резины. Автоматизация технологического процесса позволяет осуществлять производство без непосредственного участия обслуживающего персонала. При достаточном уровне автоматизации роль персонала сводится к наблюдению за ходом технологического процесса, работой оборудования, наладке и настройке аппаратуры. Перед оператор АСУ ТП стоят задачи контроля параметров технологического процесса, а также принятие решений в случае возникновения нештатных ситуаций.

В этом разделе выпускной квалификационной работы рассматриваются основные вредные и опасные факторы, оказывающие влияние на рабочий персонал, а в частности оператора АСУ ТП. Так же были рассмотрены мероприятия по снижению негативного воздействия на персонал.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **5.1.1 Характерные правовые нормы трудового законодательства**

Предполагается, что рассматриваемая в данной работе установка термической переработки эксплуатируется при постоянном контроле со стороны оператора. Предусматривается наличие обслуживающего персонала, выполняющего техническое обслуживание и ремонт оборудования. Для обеспечения постоянного контроля и соблюдения нормального режима работы был принят сменный режим работы (ч.2 ст.103 ТК РФ), согласно графику сменности. При составлении графиков сменности работодателя учитывает мнение представительного органа работников в порядке, установленном (ст 372 ТК РФ) для принятия локальных нормативных актов. Графики сменности, как правило, являются приложением к коллективному договору.

График сменности доводится до сведения работников не позднее, чем за один месяц до введения их в действие (ст.103 ТК РФ).

### **5.1.2 Основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя**

Контроль параметров технологического процесса осуществляется оператором на АРМ.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать возможность размещения на рабочей поверхности необходимого комплекта оборудования и документов с учётом характера выполняемых работ.

Регулируемая высота рабочей поверхности стола должна изменяться в пределах от 680 до 800 мм. Механизмы для регулирования высоты рабочей поверхности стола должны быть легко достигаемыми в положении сидя, иметь лёгкость управления и надёжную фиксацию.

Помещения должны оборудоваться системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией.

Освещённость рабочего места оператора на рабочем столе в горизонтальной плоскости от общего искусственного освещения должна быть от 300 до 500 лк. В поле зрения оператора должны отсутствовать прямая и отраженная блескость.

## **5.2 Производственная безопасность**

В таблице 20 приведены основные опасные и вредные факторы при проектировании системы управления установкой переработки резины. Согласно ГОСТ 12.0.003-15 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [51].

Таблица 20 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Вид работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенный уровень шума в помещении	-	+	+	ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда. Средства и методы защиты от шума. Классификация [52];
2. Несоответствие нормам параметров микроклимата	-	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [53], Методические рекомендации МР 2.2.7.2129-06;
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПин 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [54];
4. Поражение электрическим током	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновений и токов» [55];
5. Повышенный уровень электромагнитного излучения.	+	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ Электрические поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. [56]

### 5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В процессе трудовой деятельности на сотрудника могут влиять вредные и опасные факторы производственной среды. Одни из них могут вызывать болезни различного характера сразу или в перспективе, вторые могут стать причиной травмы и потери работоспособности. Эти аспекты зачастую взаимосвязаны – наличие одной группы бывает причиной возникновения второй.

### 5.2.2 Производственный шум

Источниками шума в основном являются машины и механизмы, в которых происходят соударения деталей, трение, их вынужденные колебания,



завихрения воздуха. При наличии электромагнитных устройств переменного тока в соседних деталях из магнитных материалов возникает электромагнитный шум.

Источником шума могут быть также колебания воздуха, газа при движении по воздухопроводам, или при выхлопе. Это так называемый аэродинамический шум. Наиболее распространенным источником такого вида шума являются вентиляционные устройства.

Шум неблагоприятно действует на организм человека: повышает расход энергии при одинаковой физической нагрузке, значительно ослабляет внимание, увеличивает число ошибок во время работы, замедляет скорость психических реакций, в результате чего снижается производительность труда и ухудшается качество работы. Шум затрудняет своевременную реакцию, например работающих на предприятиях или стройках, что способствует возникновению несчастных случаев. В таблице 21 приведены предельно допустимые значения. Таблица 21 – Предельно допустимые уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физическая нагрузка	Средняя физическая нагрузка	Тяжелый труд 1 степени	Тяжелый труд 2 степени	Тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Шум оказывает вредное влияние на физическое состояние человека: угнетает центральную нервную систему; вызывает изменение скорости дыхания и пульса; способствует нарушению обмена веществ, возникновению сердечно-сосудистых заболеваний, гипертонической болезни; может приводить к профессиональным заболеваниям.

Рекомендуется использовать следующие средства коллективной защиты: акустические экраны, выгородки, объемные поглотители звука, виброизолирующие опоры; средства индивидуальной защиты: Специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, производственные каски.

В качестве материалов для шумозащитных экранов применяют минеральную вату, композитные материалы, пластмассы, поликарбонаты, древесина, металлы, кирпичную кладку, бетон.

### 5.2.3 Микроклимат

Основными параметрами измерения состояния микроклимата производственного помещения служат:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Источниками нарушения этих параметров являются:

- технологическое оборудования, которое имеет высокие температуры нагрева;
- нагретые до высоких температур детали и материалы;
- тепловая энергия, которая выделяется движущимися механизмами.

Также предусматривается проведение работ на открытом воздухе в различных климатических условиях. В таблице 22 представлены оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Таблица 22 – оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	23 – 24	18 – 25	40 – 60	15 – 75	0,1	Не больше 0,1
Теплый	23 – 25	20 – 28	40 – 60	55	0,1	0,1 – 0,2

Для обеспечения нормальных условий и снижения концентрации вредных веществ в операторной предусмотрены естественная и искусственная вентиляции. Естественная вентиляция осуществляется через вентиляционные короба, искусственная вентиляция – общая приточновытяжная.

Снаружи предусмотрено включение автомеханической вентиляции, которая в аварийных случаях поможет избавиться от содержания вредных веществ.

В зимнее время в помещении предусмотрена система отопления. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В соответствии с характеристикой помещения в таблице 23 определен расход свежего воздуха.

Таблица 23 – расход свежего воздуха

Характеристика помещения	Объёмный расход подаваемого в помещения свежего воздуха м <sup>3</sup> / на одного человека
Объём до 20 м <sup>3</sup> на человека	Не менее 30
20...40 М <sup>3</sup> на человека	Не менее 20
Более 40 м <sup>3</sup> на человека	Естественная

#### 5.2.4 Искусственное освещение

Производственное освещение – неотъемлемый элемент условий трудовой деятельности человека.

При правильно организованном освещении рабочего места сохраняется зрение человека и нормальное состояние его нервной системы, также обеспечивается безопасность в процессе производства.

Производство труда и качество выпускаемой продукции находится в прямой зависимости от освещения.

Рабочая зона или рабочее место оператора АСУ ТП освещается таким образом, чтобы можно было отчётливо видеть процесс работы, не напрягая при этом зрение. Осветительные приборы и рабочее место располагаются таким образом, чтобы отсутствовало прямое попадание лучей источника света в глаза.

Уровень необходимого освещения определяется степенью точности зрительных работ. Наименьший размер объекта различения составляет 0,5-1 мм. В помещении присутствует естественное освещение. По нормам освещенности и отраслевым нормам, работа за ПК относится к зрительным работам средней точности для любого типа помещений.

В случае отключения рабочего освещения предусмотрено аварийное освещение  $E = 10$  лк.

Эвакуационное освещение предусмотрено в проходах, на лестницах, которое обеспечивает освещенность в помещениях 0,5 лк, на открытых территориях 0,2 лк.

### **5.2.5 Электробезопасность**

ПЭВМ и периферийные устройства являются потенциальными источниками опасности поражения человека электрическим током. При работе с компьютером возможен удар током при соприкосновении с токоведущими частями оборудования.

Рабочие места должны быть оборудованы защитным занулением. Подача электрического тока в помещении должна осуществляться от отдельного независимого источника питания. Необходима изоляция токоведущих частей и ее непрерывный контроль. Должны быть предусмотрены защитное отключение, предупредительная сигнализация и блокировка.

Электрические изделия по способу защиты человека от поражения электрическим током подразделяются на пять классов: 0, 01, 1, 2, 3.

ЭВМ можно отнести к классу 01, то есть, к изделиям, имеющим рабочую изоляцию, элемента для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания. При начале работы с ЭВМ необходима проверить герметичность корпуса, не открыты ли токоведущие части. Убедиться в подключении заземляющего проводника к общей шине заземления, проверить его целостность. Если заземляющий проводник отключен, подключать его можно только при отключении машины от питающей сети.

### 5.2.6 Электромагнитное излучение

Работа оператора ОСУ ТП в основном связана с работой за персональным компьютером. Вследствие чего на него оказывается воздействие электромагнитного излучения, источниками которого являются системный блок, монитор и кабели, соединяющие электрические цепи.

Электромагнитное излучение оказывает негативное влияние на сердечно-сосудистую, нервную и эндокринную систему, а также могут привести к раковым заболеваниям. В таблице 24 приведены допустимые уровни.

Таблица 24 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ ЭВМ
Напряжённость электрического поля	5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	2 Гц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного поля	5 Гц – 2 кГц	250 В/м
	2 Гц – 400 кГц	25 В/м
Напряженность электрического поля		15 В/м

Для снижения воздействия электромагнитного излучения применяют следующие меры:

- расстояние от монитора до работника должно составлять не менее 50 см;
- применение экранных защитных фильтров, а также средств индивидуальной защиты.

### 5.3 Экологическая безопасность

В процессе эксплуатации установки, а именно пиролизной переработки твердых бытовых отходов, появляются источники негативного химического воздействия на окружающую среду. По влиянию и длительности воздействия данные источники загрязнения относятся к прямым и постоянно действующим.

В процессе пиролизной переработки отходов происходит выделение жидкого пиролизного топлива и газа, а также обожженного металлокорда.

Жидкие и газообразные материал относится к 4 классу опасности. Металлокорд относится к 5 классу опасности. Переработанный материал собирается и надежно герметизируется.

Воздействия на атмосферу незначительное, так как системы противоаварийной защиты позволяют быстро реагировать на любые утечки, аварии и другие опасные ситуации. При этом все технологические аппараты оснащены защитные фильтрами.

Воздействия на гидросферу не осуществляется. Установка не имеет непосредственного контакта с водоемами и проточными водами. Получаемое пиролизное топливо конденсируется и герметизируется. В дальнейшем оно коммерчески реализуется.

Воздействие на литосферу. В процессе работы установки используются уже отработанные отходы, поэтому дополнительное сырье не используется и не добывается. Однако после истечения срока службы оборудования его необходимо утилизировать в соответствующих местах.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация – это состояние, при котором в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природе.

ЧС делятся на два типа:

- ЧС природного характера;
- ЧС техногенного характера.

Виды ЧС природного характера: землетрясения; наводнения (половодье, паводок, затор, зажор, ветровой нагон, прорывы плотин); извержения вулканов; цунами; ураганы, бури, смерчи, сильный ветер; обвалы; оползни; снежные лавины; сели; пожары; грозы;

Чрезвычайные ситуации техногенного характера: транспортные аварии (катастрофы); пожары, взрывы, угроза взрывов; аварии с выбросом (угрозой выброса) химически опасных веществ; аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ; аварии с выбросом (угрозой выброса) биологически опасных веществ; внезапное обрушение зданий, сооружений; аварии на электроэнергетических системах; аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения; аварии на очистных сооружениях; гидродинамические аварии.

### **5.5 Пожарная безопасность**

Помещение и здание операторной относится к категории Д по степени пожарной опасности, так как в нем отсутствует обработка пожароопасных веществ, отсутствуют источники открытого огня. А стены здания и перекрытия выполнены из трудно сгораемых и несгораемых материалов (кирпич, железобетон, и др.).

При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической сети может произойти возгорание, которое грозит уничтожением ПЭВМ, документов и другого имеющегося оборудования. Система вентиляции может стать источником распространения возгорания.

К основным причинам пожаров на установке можно отнести:

- непредвиденная утечка пиролизного топлива или;
- короткое замыкание в цепях систем автоматики;
- негерметичное соединение приборов и датчиков;
- несоблюдение правил пожарной безопасности на территории УКПГ.

Пожарная безопасность должна обеспечиваться за счёт:

- предотвращения утечки топлива;
- предотвращения образования в горючей среде источников зажигания;
- противоаварийной защиты контроллерного оборудования;

- организационных мероприятий по подготовке персонала, обслуживающего установку, к предупреждению, локализации и ликвидации аварий, аварийных утечек, а также пожаров и возгораний.

Для предупреждения пожаров от коротких замыканий и перегрузок необходимы правильный выбор, монтаж и соблюдение установленного режима эксплуатации электрических сетей, дисплеев и других электрических средств автоматизации.

В диспетчерском помещении имеется порошковый огнетушитель, на входной двери приведен план эвакуации в случае пожара, и на досягаемом расстоянии находится пожарный щит. Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться углекислотные огнетушители типа ОУ – 2 или порошковые типа ОП – 5.

## **5.6 Выводы по разделу**

При выполнении раздела социальной безопасности были проанализированы и выявлены основные вредные и опасные факторы, которые могут возникать в процессе обслуживания и ремонта разработанной установки, такие как: повышенный уровень шума на рабочем месте, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны, вероятность поражения электрическим током, повышенный уровень электромагнитного излучения. Были рассмотрены мероприятия по минимизации воздействия этих факторов.

Были выявлены источники негативного воздействия на окружающую среду и их последствия.

Также рассмотрены потенциальные источники возникновения чрезвычайных ситуаций, которые возникают в процессе эксплуатации установки. Приведены меры по борьбе с возникновением чрезвычайных ситуаций.



### **Список используемых источников литературы**

1. D. Czajczyńska, R. Krzyżyńska, H. Jouhara, N. Spencer Use of pyrolytic gas from waste tire as a fuel: a review. // *Energy* – 2017. – № 134. – P. 1121-1131.
2. M. Sienkiewicz, H. Janik, K. Borzędowska-Labuda, J. Kucińska-Lipka, Environmentally friendly polymer-rubber composites obtained from waste tyres: a review. // *J. Clean. Prod.* – 2017. – № 147. P. 560–571.
3. J.D. Martinez, N. Puy, R. Murillo, T. Garcia, M.V. Navarro, A.M. Mastral Waste tyre pyrolysis: a review. // *Renew Sustain Energy Rev.* – 2013. – № 23. – P. 179 – 213.
4. Moulin, L., Da Silva, S., Bounaceur, A., Herblot, M., Soudais, L.: Assessment of recovered carbon black obtained by waste tires steam water thermolysis: an industrial application. // *Waste Biomass Valori.* – 2017. – № 8. – P. 2757 – 2770.
5. J.D. Martínez, N. Cardona-Uribe, R. Murillo, T. García, J.M. López, Carbon black recovery from waste tire pyrolysis by demineralization: production and application in rubber compounding. // *Waste Manag.* – 2019. – № 85. – P. 574 – 584.
6. M.S. Mashiri, J.S. Vinod, M.N. Sheikh, H.-H. Tsang Shear strength and dilatancy behaviour of sand–tyre chip mixtures. // *Soils Found.* – 2015. – № 55. – P. 517 – 528.
7. S. Zafar Crumb Rubber From Waste Tires. Retrieved October 3, 2018 (2018)
8. A.E. Richardson, K.A. Coventry, G. Ward Freeze/thaw protection of concrete with optimum rubber crumb content. // *Cleaner Production.* – 2012. – № 23. – P. 96 – 103.
9. B.S. Thomas, R.C. Gupta A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete. // *Renewable Sustainable Energy Rev.* – 2016. – № 54. – P. 1323 – 1333.
10. N.M. Noor, D. Yamamoto, H. Hamada, Y. Sagawa Erratum to: Study on Chloride Ion Penetration Resistance of Rubberized Concrete Under Steady State Condition. // *Matec Web Conf.* – 2016. – № 47. – P. 52 – 70.

11. M.M. Ahmad, F. Ahmad, M. Azmi, M.Z. Zahid, M.B. Manaf, N.F. Isa, L.A. Sofri Properties of cement-based material consisting shredded rubber as drainage material. // *Appl. Mech. Mater.* – 2015. – № 815. – P. 84 – 88.
12. M. Medine, H. Trouzine, J.B. Aguiar, A. Asroun Durability properties of five years aged lightweight concretes containing rubber aggregates. // *Period. Polytech. Civ. Eng.* – 2017. – № 10. – P. 365.
13. M.M. Assas Durability of green concrete with ternary cementitious system containing recycled aggregate concrete and tire rubber wastes. // *Journal of Engineering Science and Technology* – 2016. – № 6. – P. 899 – 915.
14. K. Aoudia, S. Azem, Na Hocine, M. Gratton, V. Pettarin, S. Seghar Recycling of waste tire rubber: microwave devulcanization and incorporation in a thermoset resin. // *Waste Manag.* – 2017. – № 60. – P. 471 – 481.
15. S. Poovaneshvaran, M.R. Mohd Hasan, R. Putra Jaya Impacts of recycled crumb rubber powder and natural rubber latex on the modified asphalt rheological behaviour, bonding, and resistance to shear. // *Constr. Build. Mater.* – 2020. – № 234. – P. 10.
16. A. Behnood, J. Olek Rheological properties of asphalt binders modified with styrene-butadiene-styrene (SBS), ground tire rubber (GTR), or polyphosphoric acid (PPA). // *Constr. Build. Mater.* – 2017. – № 151. – P. 464 – 478.
17. V. Vázquez, J. Luong, M. Bueno, F. Terán, S. Paje Assessment of an action against environmental noise: acoustic durability of a pavement surface with crumb rubber. // *Sci. Total Environ.* – 2016. – № 542. – P. 223 – 230.
18. S. Eskandarsefat, C. Sangiorgi, G. Dondi, R. Lamperti Recycling asphalt pavement and tire rubber: a full laboratory and field scale study. // *Constr. Build. Mater.* – 2018. – № 176. – P. 283 – 294.
19. O. Youssf, M.A. Elgawady, J.E. Mills Experimental investigation of crumb rubber concrete columns under seismic. // *loading Structures* – 2015. – № 3. – P. 13 – 27.
20. J.B. Zimmerman, P.T. Anastas, H.C. Erythropel, W. Leitner Designing for a green chemistry future. // *Science* – 2020. – № 367. – P. 397 – 400.

21. S. Seghar, L. Asaro, M. Rolland-Monnet, N. Aït Hocine Thermo-mechanical devulcanization and recycling of rubber industry waste. // *Resour. Conserv. Recycl.* – 2019. – № 144. – P. 180 – 186.
22. E. Abraham, B. Cherian, P. Elbi Recent advances in the recycling of rubber waste A. Fainleib, O. Grigoryeva (Eds.), *Recent Developments in Polymer Recycling*, vol. 661, Transworld Research Network, Kerala, India. // – 2011. – № 661. – P. 47 – 100.
23. A.M. Joseph, K.N. Madhusoodanan, R. Alex, B. George “Stable free radical assisted mechanical Devulcanisation : devulcanisation of Nr/Br blends Rubber. // *Sci.* – 2019. – № 32. – P. 68 – 82.
24. Labaki, M., Jeguirim, M.: Thermochemical conversion of waste tyres - a review. // *Environ. Sci. Pollut. Res.* – 2017. – № 24. – P. 9962 – 9992.
25. A. Worlee, S. Saiwari, W. Dierkes, S.S. Sarkawi, C. Nakason Influence of filler network on thermo-chemical de-vulcanization efficiency of carbon black filled natural rubber. // *J. Met. Mater. Miner.* – 2019. – № 29. – P. 76 – 81.
26. H.L. Liu, X.P. Wang, D.M. Jia Recycling of waste rubber powder by mechano-chemical modification. // *J. Clean. Prod.* – 2012. – P. 118716.
27. Close D. De, D. De, G.M. Singharoy Reclaiming of ground rubber tire by a novel reclaiming agent. I. Virgin natural/reclaimed GRT vulcanizates. // *Polym. Eng. Sci.* – 2007. – № 47. – P. 1091 – 1100.
28. D. Jendrossek, J. Birke Rubber oxygenases. // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2019. – № 103. – P. 125 – 142.
29. Close Storage of Waste Tyres in Victoria Environment Protection Authority Victoria (2020)
30. Bhattacharya, 2018 S. Bhattacharya Waste Not, Want Not: a Home-grown Plan to Turn Plastic and Tyres Into Fuel. Retrieved October 3, 2018 (2018)
31. S.S. Lam, W.A. Wan Mahari, C.K. Cheng, R. Omar, C.T. Chong, H.A. Chase Recovery of diesel-like fuel from waste palm oil by pyrolysis using a microwave heated bed of activated carbon. // *Energy* – 2016. – № 115. – P. 791 – 799.

32. A. Buekens Introduction to feedstock recycling of plastics J. Scheirs, W. Kaminsky (Eds.), Feedstock recycling and pyrolysis of waste plastics: converting waste plastics into diesel and other fuels. // John Wiley & Sons – 2006. – P. 3 – 41.
33. A.M. Cunliffe, P.T. Williams Composition of oils derived from the batch pyrolysis of tires. // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, – 2008. – № 44. – P. 131 – 152.
34. D.E. Dugaard, R.C. Brown Enthalpy for pyrolysis for several types of biomass. // Energy Fuel – 2003. – № 17. – P. 934 – 939.
35. J. Yang, C. Roy A new method for DTA measurement of enthalpy change during the pyrolysis of rubbers. // Thermochimica Acta – 2006. – № 288. – P. 155 – 168.
36. R. Aguado, M. Olazar, D. Vélez, M. Arabiourrutia, J. Bilbao Kinetics of scrap tyre pyrolysis under fast heating conditions. // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis – 2005. – № 73. – P. 290 – 298.
37. K.-Y. Cheung, K.-L. Lee, K.-L. Lam, T.-Y. Chan, C.-W. Lee, C.-W. Hui Operation strategy for multi-stage pyrolysis. // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis – 2011. – № 91. – P. 165 – 182.
38. K. Unapumnuk, T.C. Keener, M. Lu, F. Liang Investigation into the removal of sulfur from tire derived fuel by pyrolysis. // Fuel – 2008. – № 87. – P. 951 – 956.
39. Термопара ТД711 [Электронный ресурс] // URL: <https://termodat.ru/catalog/tdprovod2/td711/> – Дата обращения: 23.03.2021.
40. Термодат РВ4/12УВ/Т [Электронный ресурс] // URL: [https://termodat.ru/catalog/moduli\\_analogovogo\\_vvoda/modul\\_rv4/](https://termodat.ru/catalog/moduli_analogovogo_vvoda/modul_rv4/) – Дата обращения: 26.03.2021.
41. Опросник Термодат 25М/5 [Электронный ресурс] // URL: <https://termodat.ru/catalog/termodat-25m6/termodat-25m5/> – Дата обращения: 27.03.2021.

42. ПДУ поплавковые датчики [Электронный ресурс] // URL: [https://owen.ru/product/datchiki\\_urovnya\\_poplavkovie\\_pdu](https://owen.ru/product/datchiki_urovnya_poplavkovie_pdu) – Дата обращения: 29.03.2021.
43. Привод SIEMENS SKC60 [Электронный ресурс] // URL: [http://www.ovk-kom.ru/Katalog/siemens/Acvatix/arctuators/N4566ru\\_SKB\(C\)62.pdf](http://www.ovk-kom.ru/Katalog/siemens/Acvatix/arctuators/N4566ru_SKB(C)62.pdf) – Дата обращения: 1.04.2021.
44. Simple-SCADA [Электронный ресурс] // URL: <https://simple-scada.com/> – Дата обращения: 5.04.2021.
45. Муфельная печь «Спутник» [Электронный ресурс] // URL: <https://pech-sputnik.ru/> – Дата обращения: 5.04.2021.
46. Glushkov, D.O., Kuznetsov, G.V., Nigay, A.G., Yanovsky, V.A.: Influence of gellant and drag-reducing agent on the ignition characteristics of typical liquid hydrocarbon fuels // *Acta Astronaut.* – 2020. – № 177. – P. 66 – 79.
47. Porfiryev, Y., Shuvalov, S., Popov, P., Kolybelsky, D., Petrova, D., Ivanov, E., Tonkonogov, B., Vinokurov, V.: Effect of base oil nature on the operational properties of low-temperature greases. // *ACS Omega* 5 – 2020. – № 23. – P. 11946-11954.
48. Vershinina, K.Y., Dorokhov, V.V., Romanov, D.S., Strizhak, P.A.: Comparing the ignition parameters of promising coal fuels. // *Process. Saf. Environ. Prot.* – 2020. – № 139. – P. 273 – 282.
49. Mwangi, J.K., Lee, W.J., Chang, Y.C., Chen, C.Y., Wang, L.C.: An overview: Energy saving and pollution reduction by using green fuel blends in diesel engines. // *Appl. Energy.* – 2015. – № 159. – P. 214 – 236.
50. H Zhou, H., Li, Y., Li, N., Qiu, R., Cen, K.: Conversions of fuel-N to NO and N<sub>2</sub>O during devolatilization and char combustion stages of a single coal particle under oxy-fuel fluidized bed conditions. // *J. Energy Inst.* – 2019. – № 92. – P. 351 – 363.
51. ГОСТ 12.0.003-15. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

52. ГОСТ 12.1.029-80. Система стандартов безопасности труда. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

53. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

54. СанПин 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.

55. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновений и токов.

56. ГОСТ 12.1.006-84. ССБТ. Электрические поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

Приложение А  
(справочное)

**Раздел магистерской диссертации на иностранном языке**

**Development of an automated control system for the thermal processing plant of  
rubber**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM91	Сидоренко Игорь Валерьевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пак Александр Яковлевич	к.т.н		

Консультант - лингвист:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н., доцент		

## **1. Introduction**

The annual production of cars worldwide for the past 10 years has been increased by 28 %. This leads to an inevitable increase in the number of used tires, which is a serious environmental problem due to the existing technological difficulties of their recycling and processing due to the composition heterogeneity and complex structure. Thus, the disposal of used automobile tires in 2015 had reached almost 1 billion units. At the same time, underground disposal of rubber waste is prohibited in many countries, due to regulation by the requirements for the management of industrial waste, as it can be a source of uncontrolled toxic fires and pollution.

One of the most promising ways to recycle automobile tires is the steam gasification technology. Its advantages are explosion safety, neutralization of environmentally hazardous compounds in the vapor-gas mixture, higher the energy value of gas-phase products, activation of the carbon particles pore structure and the possibility of the smooth regulation of raw materials thermal conversion. The main products of gasification are liquid hydrocarbons, semi-coke, combustible gas and metal scrap. The semi-coke obtained is an analog of carbon black and can be returned to the technological cycle of rubber products manufacturing. Another product (liquid hydrocarbons) consist of aromatic and aliphatic compounds. They are of interest for the chemical and oil refining industries, as well as energy sector. At the same time, the energy potential (having calorific value varied in range 40 – 44 MJ/kg of this product is comparable to traditional fuel oil, which is used at power facilities, ships, railway transport, diesel engines etc.

Currently, the majority of the existing research in the field of liquid hydrocarbon droplets combustion is dedicated to bio-oils derived from lignocellulosic products. The pyrolysis oil obtained in the result of steam gasification of used tires have a high energetic potential, and can provide a partial replacement of traditional energy raw materials (fuel oil, in particular) within the program of waste rubber recycling, which will allow to reduce the expanses of households and businesses on energy resources.



This paper presents results of the experimental research on the combustion process of liquid hydrocarbons obtained via steam gasification of used automobile tires of summer type which were used for passenger cars.

## 1 Experimental installation of steam gasification

The schematic diagram of experimental setup for steam gasification of used automobile tires is presented in Figure 1.

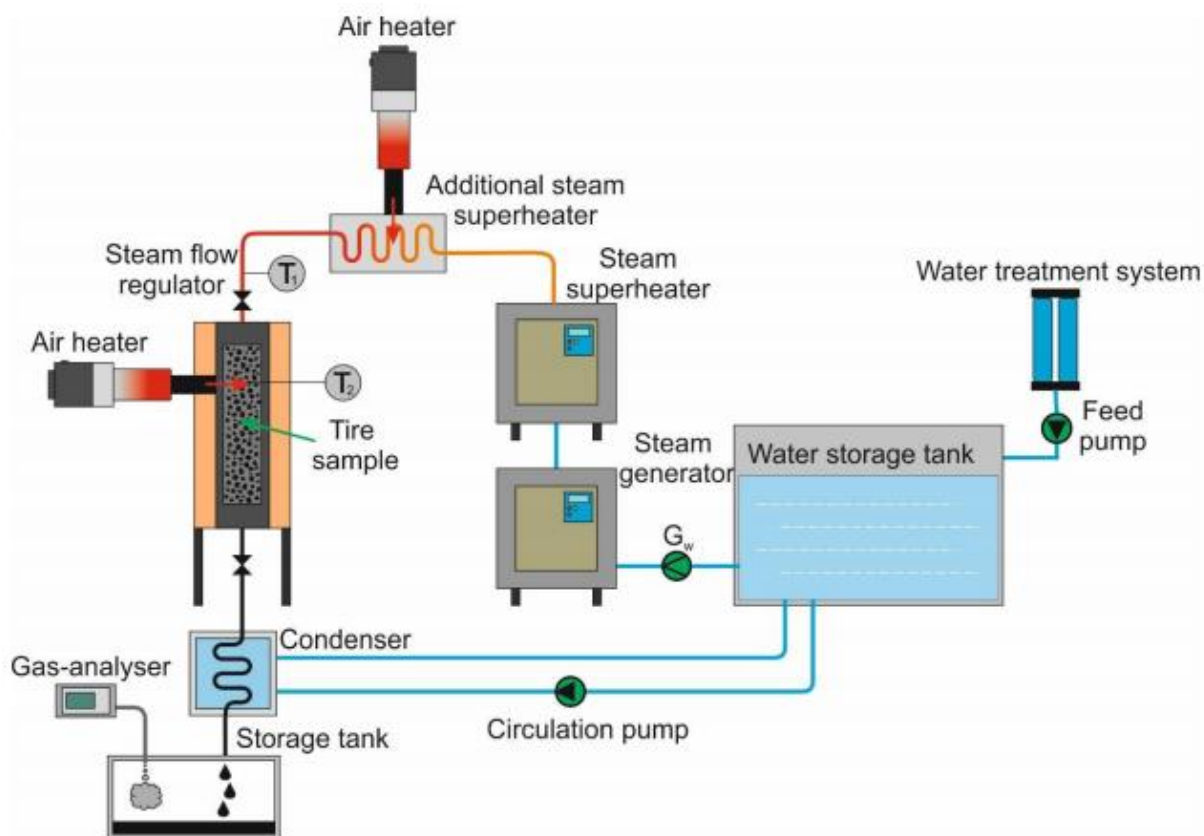


Figure 1 – Schematic diagram of the experimental setup used for steam gasification of used automobile tires.

A 0,5 kg of used automobile tire sample was loaded into a tubular steam gasification reactor, in particular, in the container made of metal mesh tightly fixed into the inner volume of the reactor chamber. After that, the reactor was closed and tightly sealed. Then a regulating device was opened for constant steam flow through the chamber. The released during decomposition of the used automobile tires gases were removed together with steam and condensed in the tubular condenser. Obtained liquid products (mixture of water and liquid hydrocarbons) were drained into a storage

tank. Saturated vapor was generated in a steam generator which was fed with chemically treated water from the water storage tank by pump.

The steam flow rate was adjusted by a needle-type valve at the reactor inlet and regulated by a liquid flow meter installed before the steam generator. Then the heated to 120 °C steam consecutively passed through the first (electrical) and second (heated by hot air) stages of superheater, in which its temperature was increased to required value. Temperature control inside the reactor and intratubular gap (to maintain constant temperature by the air heater) was performed continuously using installed thermocouples (T1 and T2) connected to a multi-channel thermocouple recorder.

Steam gasification of the studied samples of used automobile tires was carried out at 500 °C and 5 kg/h flow rate for 1 hour. The sample weight was 0,5 kg.

### 1.1 Development of a functional scheme

Automation functional diagram – a technical document that is included in the main set of working drawings of the designed system. The automation functional diagram represents the process equipment, as well as the connecting components of the automated system, automation tools, and circuits responsible for control, regulation, and control.

Figure 2 shows the developed functional diagram of the thermal processing plant of rubber.

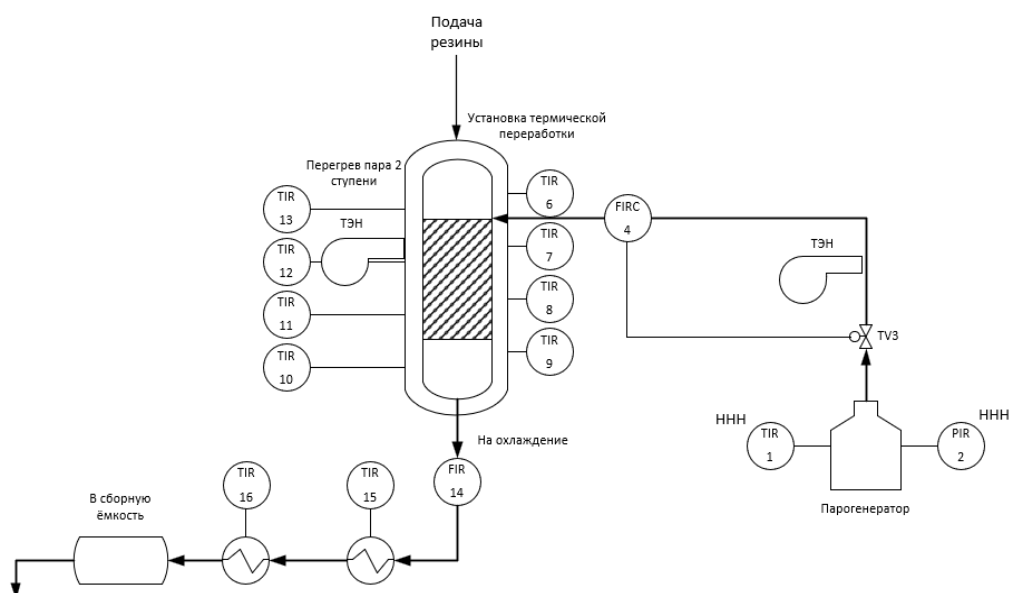


Figure 2 – Functional diagram

### 1.3 SCADA system development

To implement the automated control system for the thermal processing plant of rubber, a demo version of the SCADA system Simple-Scada was selected. The limit of this version is the maximum number of external tags, which is 64. At this stage, this is quite enough to output data to the HMI.

- simple-Scada Features:
- script support;
- import to databases;
- creating a reporting system;
- web client;
- support for OPC UA and OPC DA servers;
- simultaneous operation of up to three projects on the server;
- storing a log of operator actions;
- sending E-mail, SMS, Telegram;
- server redundancy.

### 1.3 Implementing screen forms

Figure 3 shows the screen form that the operator will see. For full operation, you need to specify tags for the sensors. The fans on this screen form are heat guns that heat the steam and maintain the temperature inside the installation.

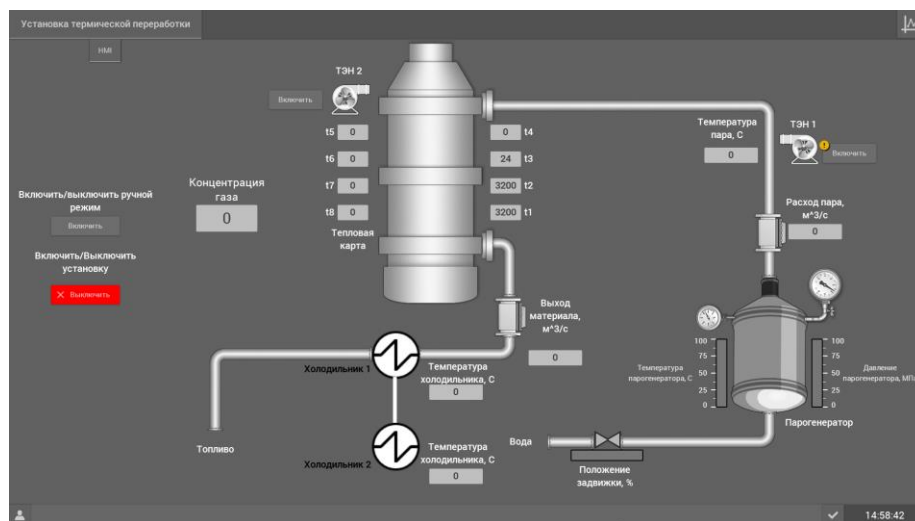


Figure 3 – HMI Screen

This HMI allows you to switch the installation to manual mode by manually opening the valve and turning on / off the heating elements. At the bottom of this screen form, messages about the pre-emergency and emergency operation of the steam generator are displayed (the pressure or temperature level is too high).

Trend lines are located in a separate tab. They demonstrate the change in the measured parameters. In this case, the screen displays information about the temperature change in the 8 points of the external wall of the installation and information about the current pressure and temperature in the steam generator.

The analog output module can transmit data using Modbus RTU, Modbus ASCII, and the proprietary Termodat protocol.

Figure 4 shows the result of a survey of plotting sensors using SCADA.

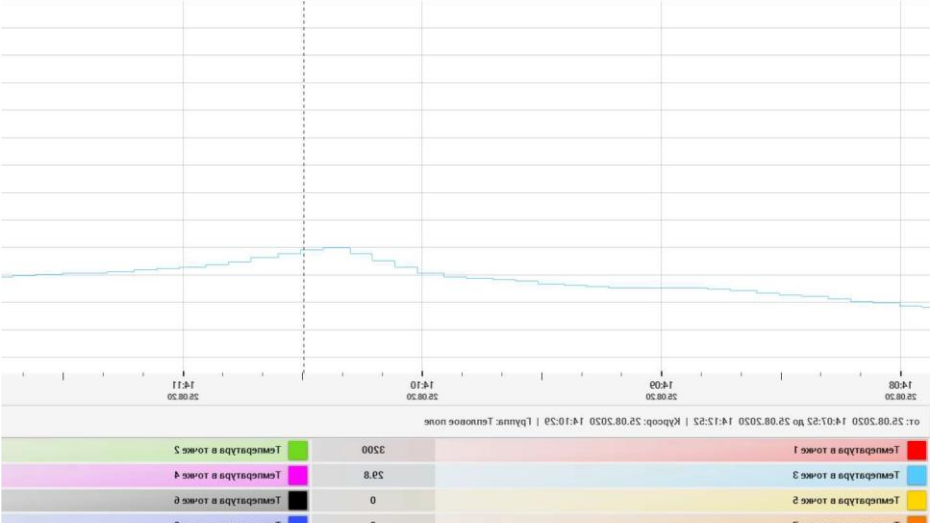


Figure 4 – Display of the temperature trend line on the third measurement channel

Figure 5 shows how to export data to MS Excel. This is how the data archiving task is implemented.

1	ID	Timestamp	Value	Quality
612	2	14:02:00	23,5	1
613	2	14:02:01	23,60000038	1
614	2	14:02:12	23,5	1
615	2	14:02:31	23,70000076	1
616	2	14:02:37	23,60000038	1
617	2	14:07:05	23,60000038	1
618	2	14:07:06	23,79999924	1
619	2	14:07:07	23,79999924	3
620	2	14:07:27	25,29999924	2
621	2	14:07:27	25,29999924	1
622	2	14:07:55	25,70000076	1
623	2	14:07:59	25,70000076	1
624	2	14:08:00	25,89999962	1
625	2	14:08:06	25,89999962	1
626	2	14:08:43	26,89999962	1
627	2	14:08:48	27	1
628	2	14:09:12	27	1
629	2	14:09:13	27,10000038	1
630	2	14:09:49	27,79999924	1
631	2	14:09:54	28,10000038	1
632	2	14:10:00	28,10000038	1
633	2	14:10:01	28,5	1
634	2	14:10:18	29,89999962	1
635	2	14:11:00	28,5	1
636	2	14:11:01	28,39999962	1
637	2	14:11:06	28,39999962	1

Figure 5 – Exporting data from SCADA

## 2 Investigation of the characteristics of the obtained material

### 2.1 Characterization of materials

Before the analysis, the obtained condensed products of used automobile tires gasification were separated into liquid hydrocarbons and water using separating funnel. The liquid products later will be referred to as S1 – S4 according to the designations of automobile tire samples used.

A sample of standard fuel oil was used to perform a comparative assessment of the obtained liquid hydrocarbon products. Such fuel oil is widely used in the energy complex. This sample later will be referred to as S5.

### 2.2 Droplet ignition and combustion of liquid hydrocarbon samples

Study of ignition and subsequent combustion of single hydrocarbon droplets was carried out using experimental setup, schematic diagram of which is presented in Figure 6.

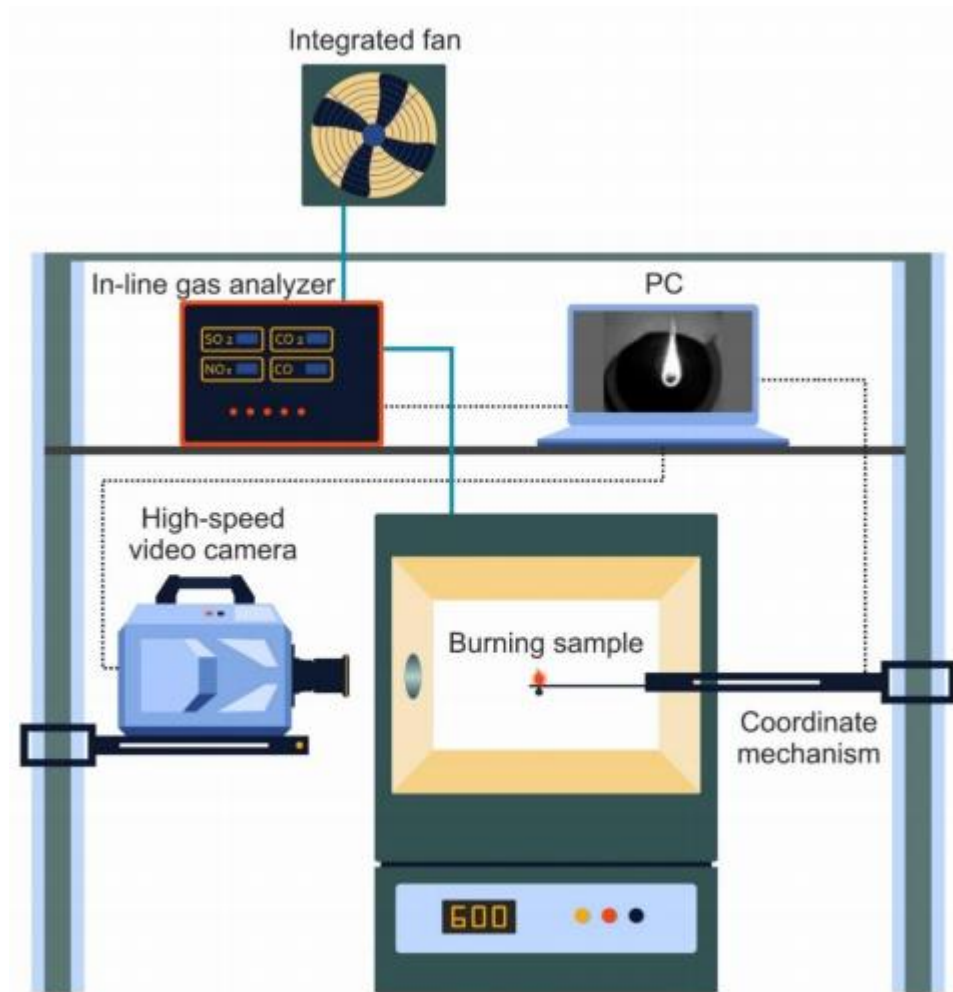


Figure 6 – Experimental setup for studying the combustion of liquid fuel droplets.

The main elements of the setup were the combustion chamber in PM-1400 temperature-controlled furnace with a digital temperature controller with 0,012 m<sup>3</sup> volume; Fastcam SA4 5 high-frequency video camera with 1024×1024 pixels resolution with 12 bits color depth and 1000 fps frequency of shooting; the platform of coordinate mechanism was used to supply the liquid hydrocarbon fuel droplets into the furnace with a less than 1 mm error of movement. The gas analysis was realized via Test 203 in-line gas analyzer.

The method of studying ignition and combustion of single droplet of liquid hydrocarbons samples included several steps. The required temperature was set (in the 450 – 700 °C range with 50 °C intermediate step) in a temperature-controlled furnace. Such temperatures were characteristic to the conditions of supplying sprayed liquid fuels to the furnace of modern boiler plants. Then the droplet of liquid fuel was placed on the metal rod holder (made of steel wire) of the coordinate mechanism by

mechanical dispenser, the stroke of which was calibrated at a coordinate of the center of the combustion chamber and driven by a PC. The average diameter of droplet was 1,5 mm. Video recording had been started simultaneously with the beginning of the rod movement into the combustion chamber. Composition of exhaust gases (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>) was recorded using the in-line gas analyzer.

Comparative assessment of the characteristics of ignition and combustion at different temperatures of the heating medium was carried out by analyzing the times of ignition delay and flame burning, which were obtained using high-frequency video camera. Ignition delay time was considered to be the time interval between the moments of the holder entering the focus of the camera and the appearance of visible glow on the fuel surface. Burning time was considered from the moment of visible glow appearance to the sample burnout with the disappearance of visible flame.

The fuel ignition process was considered to be stable if a well-visible flame was observed and the droplet was burned completely. At least 10 repetitive measurements were performed for each sample at each temperature of heating medium.

### **2.3 Droplet ignition and combustion of liquid hydrocarbons**

Dependences of the ignition delay time of the studied hydrocarbon droplets on the heating medium temperature in range from 450 to 700 °C are presented in Figure 4.

For all samples the ignition delay time  $\tau_i$  was found to exponentially decrease with the increasing of heating medium temperature which was in good correspondence with earlier published articles. The average ignition delay time of the studied samples was reduced by 19,2 times with increase in the temperature from 450 °C to 700 °C. Significant deviation in the

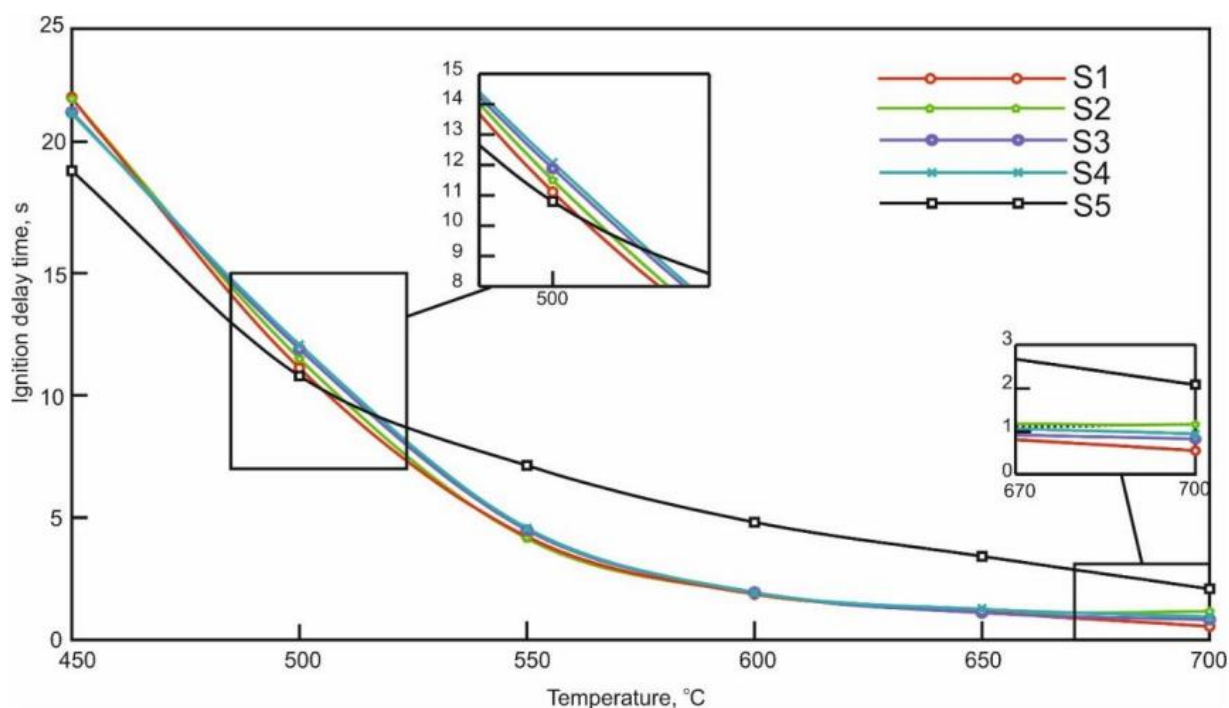


Figure 7 – Dependences of the ignition delay time of the studied hydrocarbon droplets on the heating medium temperature in range from 450 to 700 °C.

Character of ignition delay time  $\tau_i$  dependence on temperature (in comparison with samples S1-S4) was observed for standard fuel oil (sample S5) according to Figure 7. This difference could be explained by significantly different elemental composition as well as by the presence of light hydrocarbons in the composition of samples S1-S4.

Dependences of the flame burning time of the liquid hydrocarbon droplets on the heating medium temperature (varied in range 500 – 700 °C) are presented in Figure 8.



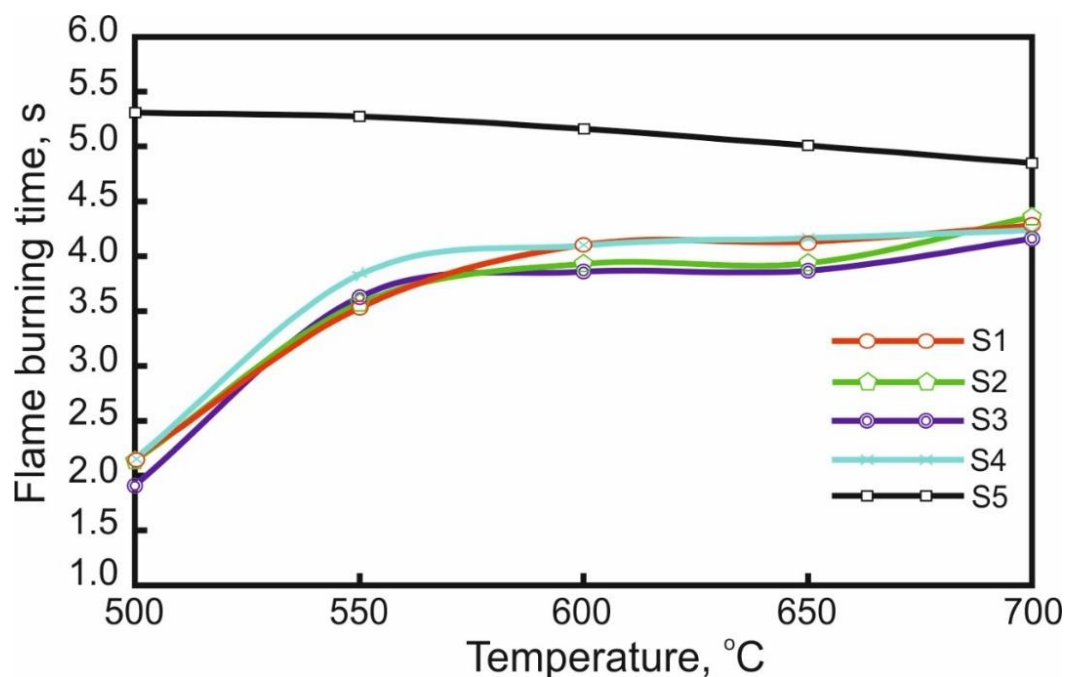


Figure 8 – Dependences of the flame burning time of the liquid hydrocarbon droplets on the heating medium temperature in range from 500 to 700 °C.

The highest flame burning time in the entire temperature range studied (500 – 700 °C) was observed for the standard fuel oil (S5 sample), characterized by a low content of light hydrocarbons with high reactivity. As the temperature of the heating medium increased, a slight decrease in the flame burning time ( $\Delta\tau_f = 0.46$  s) was observed for this sample. At the same time, different relationship was observed for S1-S4 samples, manifested in an increase of  $\tau_f$  parameter from 2,1 to 4,3 s on average.

## 2.4 Analysis of gas-phase combustion products

Figure 9 – shows the maximum concentration of various gas-phase compounds (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) in the combustion products of the studied samples of liquid hydrocarbons at different temperatures of the heating medium ( $T_g=500-700$  °C).

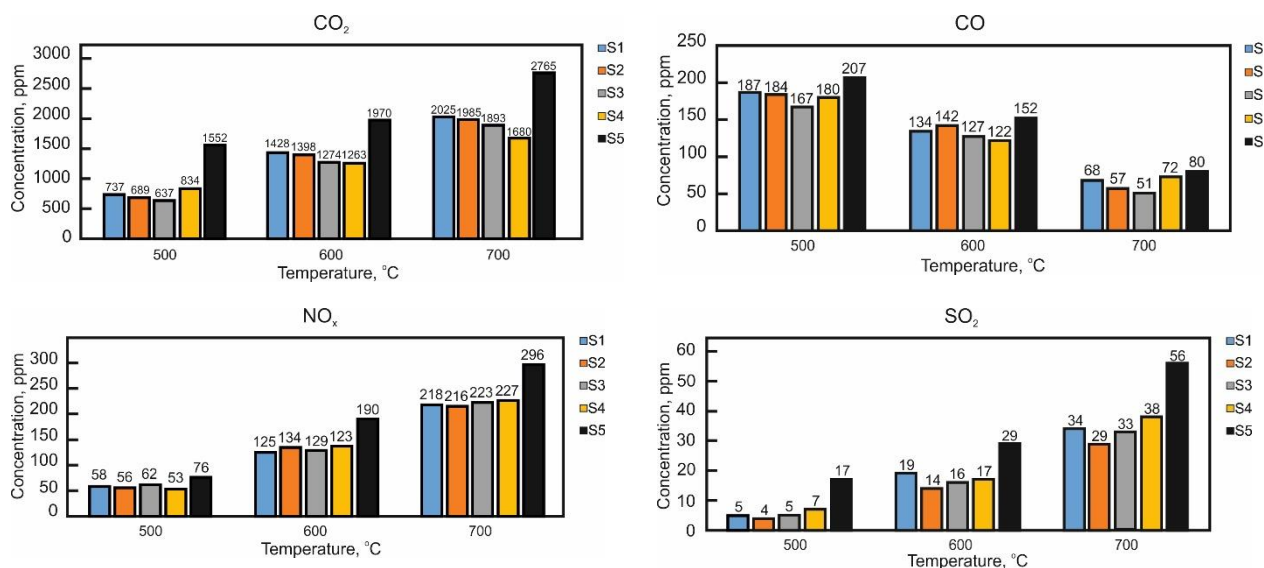


Fig. 7 Concentration maxima of gas-phase compounds (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>) in the released combustion products of liquid hydrocarbons at different temperatures of the heating medium.

It could be seen that there was a decrease in the concentration of CO in the composition of the gas-phase combustion products (on average by 64 %) with the increase in the heating medium temperature, due to intensification of the combustion process of liquid hydrocarbons at higher temperatures.

Lower values of the concentration peaks of CO and CO<sub>2</sub> (on average by 16 % and 39 %, respectively) were observed for S1 – S4 samples compared to the S5 sample, which correlated with their elemental composition and the intensity of microbursts observed at an early stage of combustion.

### 3 Conclusion

The paper presents a comparative analysis of the technical characteristics and the combustion process of single drops of liquid hydrocarbons obtained by steam gasification of worn-out car tires with traditional liquid energy fuel - oil fuel oil gorenje.

Based on the results of determining the characteristics and composition of the studied samples of liquid hydrocarbons, it can be concluded that the fuels obtained as a result of steam gasification of worn car tires, in comparison with oil fuel oil, are

characterized by a comparable calorific value, lower density, viscosity and sulfur content, which indicates the possibility of their use as boiler fuels.

When analyzing gas-phase gorenje products ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , and  $\text{SO}_2$ ), lower values of concentration maxima of the designated gas-phase compounds were recorded for samples of liquid hydrocarbons obtained as a result of steam gasification of worn-out automobile tires, in contrast to oil fuel oil. This Gorenje is mainly due to the different elemental composition of the groups of the samples S1-S4 and S5, as well as the difference in the kinetics of their combustion process.

Thus, steam gasification can be considered as an effective method of processing worn-out car tires to produce liquid hydrocarbon fuel, which can be used as boiler fuel.